

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 11-312848

(43) 公開日 平成11年(1999)11月9日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	F I		
H 0 1 S	3/23	H 0 1 S	3/23	Z
	3/06		3/06	B
	3/10		3/10	Z
H 0 4 J	14/00	H 0 4 B	9/00	E
	14/02			J
審査請求 未請求 請求項の数 3		O L	(全 4 5 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願平11-49060
 (22) 出願日 平成11年(1999)2月25日
 (31) 優先権主張番号 特願平10-48454
 (32) 優先日 平10(1998)2月27日
 (33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
 (72) 発明者 木下 進
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
 (72) 発明者 尾中 美紀
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
 (74) 代理人 弁理士 大菅 義之 (外1名)

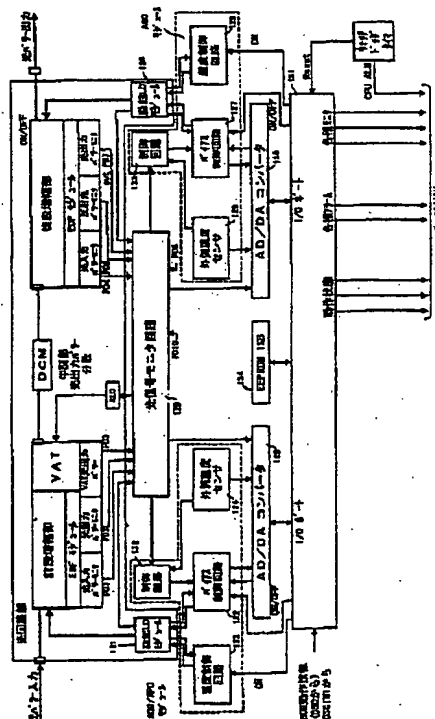
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 波長多重伝送システムに最適な光増幅器を提供する。

【解決手段】 希土類元素をドープした光ファイバと、この光ファイバに励起光を入力する励起光源とを有する前段光増幅部と、希土類元素をドープした第二の光ファイバと、この第二の光ファイバに励起光を入力する励起光源とを有する後段光増幅部とを備え、前記前段光増幅部と後段光増幅部は、着脱可能な光結合手段を介して光学的に接続する。また、光ファイバの出力側に設けられこの光ファイバの利得特性の波長依存性を補償する利得等化手段とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】希土類元素をドープした光ファイバと、この光ファイバに励起光を入力する励起光源とを有する前段光増幅部と、

希土類元素をドープした第二の光ファイバと、この第二の光ファイバに励起光を入力する励起光源とを有する後段光増幅部とを備え、

前記前段光増幅部と後段光増幅部は、着脱可能な光結合手段を介して光学的に接続されたことを特徴とする光増幅器。

【請求項2】波長多重された複数の異なる波長の光信号が入力される希土類元素をドープした光ファイバと、この光ファイバの出力側に設けられこの光ファイバの利得特性の波長依存性を補償する利得等化手段とを有する前段光増幅部と、

希土類元素をドープした第二の光ファイバを有する後段光増幅部とを備え、

前記前段光増幅部と後段光増幅部は、着脱可能な光結合手段を介して光学的に接続されたことを特徴とする光増幅器。

【請求項3】波長多重された複数の異なる波長の光信号が入力される希土類元素をドープした光ファイバを有し、増幅された光信号を出力する前段光増幅器と、前記前段光増幅器から出力された各光信号の分散を補償して、出力する分散補償手段と、

前記分散補償手段から出力される各光信号が入力される希土類元素がドープされた第二の光ファイバと、この第二の光ファイバの出力側に設けられこの第二の光ファイバの利得特性の波長依存性を補償する利得等化手段と、この利得等化手段から出力される各光信号が入力される希土類元素がドープされた第三の光ファイバとを有する後段光増幅器とを備えたことを特徴とする光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長の異なる複数の光信号を波長多重(WDM: Wavelength-Division Multiplexing)し、光ファイバ伝送路を介して伝送する波長多重光通信システムに用いられ、波長多重された光信号の増幅に適した波長多重用光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】将来のマルチメディアネットワークを構築するため、さらなる大容量の光通信システムが要求されている。インターネット、広帯域ISDN(B-ISDN)等が本格的に普及し、動画像通信等を楽しむ目的で、数Mb/sの情報を各家庭で扱うようになると、幹線系の伝送容量は電話網(64kb/s)をベースとした現状の通信容量よりも2桁大きいテラビット(Tb/s = 1,000 Gb/s)クラスが必要になると考えられる。このため、国内外の研究機関では、超大容量化を実現する多重化方式として、時分割伝送方式(TDM: Time-Division Multiplexing)、光領域で

の時分割多重伝送方式(OTDM: Optical Time-Division Multiplexing)、波長多重伝送方式(WDM: Wavelength-Division Multiplexing)等の研究が盛んに行なわれている。

【0003】このうちWDM伝送方式は、光信号を光レベルで増幅するエルビウムドープ光ファイバアンプ(EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifier)の広い利得帯域を活用し、光レベルでのクロスコネクタや分岐・挿入(Add/Drop)を行う、柔軟な、いわゆる光波ネットワークの実現手段としても期待されている。このようなWDM伝送方式の研究開発の進展に伴い、光ファイバアンプは、既に実用化されているEDFAを基本として波長多重用光ファイバアンプへと展開するための研究が活発に進められている。波長多重光通信システムのキーコンポーネントである波長多重用光ファイバアンプは、一般的には、エルビウムイオン(Er^{3+})等の希土類イオンをドープした単一モード光ファイバを用いて、波長多重された多波長の光信号を一括して増幅する光ファイバ増幅器のことを指す。最も一般的なエルビウムドープ光ファイバ増幅器は、1530nm から 1565nm までの 35nm 程度で4THz以上の広い利得帯域がある。この利得帯域内に数十から百波程度の波長の異なる信号光を波長多重して一括増幅が行なわれる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】波長多重光通信システムにおいて、キーコンポーネントの一つである波長多重用光ファイバアンプには、波長多重された波長の異なる複数の光信号を一括して増幅するために、以下のような課題がある。

【0005】(1)多波長信号を増幅するための広帯域特性、(2)広い入力ダイナミックレンジにおける利得の波長に対する平坦性、(3)各チャネルの光出力の制御性、(4)分散補償器の損失補償、(5)入力チャネル数変動に対する光出力制御。

【0006】また、光ファイバアンプの基本的な特性として、(6)低雑音特性、(7)高出力特性(または、励起光パワーが信号光パワーへ変換される際の高効率特性)。

【0007】この中で、(2)の課題は波長多重用EDFAを、光増幅中継器(インラインアンプ)として用いる場合に重要となる。広いダイナミックレンジがあれば、中継区間の損失が異なる場合にも、同一の光ファイバアンプで対応できる。

【0008】(3)の課題は、波長多重された各チャネル(各波長)は良好な品質を維持したまま受信端で受信される必要があるが、このためには、光増幅中継器の各チャネルの出力には、上限と下限を規定する必要がある。これは、光増幅中継器には、再生中継器の波形成形、タイミング抽出といった機能がなく、雑音が累積されるために生じる課題である。上限は、伝送路である単

一モード光ファイバ中で発生する自己位相変調 (SPM: Self-Phase Modulation)、相互位相変調 (XPM: Cross-Phase Modulation)、四光波混合 (FWM: Four-Wave Mixing) といった非線型効果によって信号波形が劣化しないように規定される。下限は、光ファイバアンプから発生する雑音光 (ASE: Amplified Spontaneous Emission) による信号対雑音比 (SNR: Signal-to-Noise Ratio) の劣化を低く抑えるように規定される。光ファイバアンプの出力において、各チャネル (各波長) の光出力がこの範囲に入る必要がある。

【0009】 (4) の課題は、伝送路が $1.3\mu\text{m}$ 零分散単一モード光ファイバ (SMF: Single-Mode Optical Fiber) である場合、EDFAの増幅帯域に存在する $1.55\mu\text{m}$ の波長の光に対して、伝送路に 18ps/nm/km 程度の分散があるために、 10GHz といった高速の伝送速度の信号を伝送すると波形が歪んでしまうという問題に起因する。これを解決するためには、例えば各中継器毎で中継区間で生ずる分散とちょうど逆の (負の) 分散を伝送された信号に与えて補償する方法がある。この場合には、分散補償器の挿入損失も光ファイバアンプで補償することになる。

【0010】 (5) の課題は、波長多重用光ファイバアンプを光レベルでのクロスコネクタや分岐挿入を行ういわゆる光波ネットワークに適用する際に重要な課題となる。すなわち、光ファイバアンプに入力されているチャネル数が運用中に変化することになるが、この際も各チャネルの出力は所定値を保っている必要がある。

【0011】 本発明は、上記の課題を解決し、特に、波長多重伝送システムに最適な光増幅器を提供することにある。また、本発明は、上記課題解決のために複雑化する光増幅器の製造・保守・点検コストの削減を可能にした光増幅器を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】 上記課題は、請求項1の発明によれば、希土類元素をドープした光ファイバと、この光ファイバに励起光を入力する励起光源とを有する前段光増幅器と、希土類元素をドープした第二の光ファイバと、この第二の光ファイバに励起光を入力する励起光源とを有する後段光増幅器とを備え、前記前段光増幅器と後段光増幅器は、着脱可能な光結合手段を介して光学的に接続することにより達成される。

【0013】 また、請求項2の発明によれば、波長多重された複数の異なる波長の光信号が入力される希土類元素をドープした光ファイバと、この光ファイバの出力側に設けられこの光ファイバの利得特性の波長依存性を補償する利得等化手段とを有する前段光増幅器と、希土類元素をドープした第二の光ファイバを有する後段光増幅器とを備え、前記前段光増幅器と後段光増幅器は、着脱可能な光結合手段を介して光学的に接続することにより達成される。

【0014】 さらに、請求項3の発明によれば、波長多重された複数の異なる波長の光信号が入力される希土類元素をドープした光ファイバを有し、増幅された光信号を出力する前段光増幅器と、前記前段光増幅器から出力された各光信号の分散を補償して、出力する分散補償手段と、前記分散補償手段から出力される各光信号が入力される希土類元素がドープされた第二の光ファイバと、この第二の光ファイバの出力側に設けられこの第二及び第三の光ファイバの利得特性の波長依存性を補償する利得等化手段と、この利得等化手段から出力される各光信号が入力される希土類元素がドープされた第三の光ファイバとを有する後段光増幅器とを備えることにより達成される。

【0015】

【発明の実施の形態】 図1は、光波長多重伝送システムのシステム構成図である。図1のシステムでは、北米の SONET 伝送方式で規定されるビットレート 10Gbps の光信号フレーム OC-192 及びビットレート 2.4Gbps の光信号フレーム OC-48 にそれぞれ異なる波長 (チャネル) を割り当て、最大32チャネルまで波長多重して、一本の単一モード光ファイバ SMF を介して伝送する構成を示している。なお、各光信号は同図の左 (WEST側) から入力されて同図の右側 (EAST) へ伝送され、同図の右 (EAST側) から入力されて同図の左側 (WEST) へ伝送されるものとして説明する。

【0016】 同図のWEST側にある 10Gbps 伝送装置 W1 は、光信号送信部 OSW1 及び光信号受信部 ORW1 を含む。光信号送信部 OSW1 は、波長 λ_1 の光波を、SONETのSTS-192フレームに従った 10Gbps の電気信号で変調し、OC-192光信号フレームに従った波長 λ_1 の単一波長光信号 (10Gbps) を出力する。この波長 λ_1 の光信号を次段の波長多重分離装置 WMUXA の入力側に設けた光可変減衰器 VATA1 に出力する。また、光信号受信部 ORW1 は単一モード光ファイバを介して伝送されたきた OC-192光信号フレームに従った波長 λ_1 の単一波長光信号 (10Gbps) を前段の波長多重分離装置 WMUXA の出力側の光波長デマルチプレクサ RWDA より受信し、STS-192フレームに従った 10Gbps の電気信号を再生する。同図のEAST側にある 10Gbps 伝送装置 E1 は、WEST側にある 10Gbps 伝送装置 W と同一の構成であり、光信号受信部 ORE1 と光信号送信部 OSE1 とを含む。光信号受信部 ORE1 は、前段の波長多重分離装置 WMUXB の出力側の光波長デマルチプレクサ RWDB より、OC-192光信号フレームに従った波長 λ_1 の単一波長光信号 (10Gbps) を受信し、STS-192フレームに従った 10Gbps の電気信号を再生する。光信号送信部 OSE1 は、波長 λ_1 の光波を、SONETのSTS-192フ

レーンに従った10Gbpsの電気信号で変調し、OC-192光信号フレームに従った波長 λ_1 の単一波長光信号(10Gbps)を、次段の波長多重分離装置WMUXBの入力側に設けられた可変光減衰器VATB1に出力する。

【0017】なお、可変光減衰器VATA、VATBは、光信号送信部OSW、OSEに対して、1対1に設ける必要はなく、複数の光信号送信部からの光信号を一括して減衰することも可能である。

【0018】同じく、同図のWEST側にある2.4Gbps伝送装置Wnは、光信号送信部OSWn及び光信号受信部ORWnを含む。光信号送信部OSWnは、波長 λ_n の光波を、SONETのSTS-48フレームに従った2.4Gbpsの電気信号で変調し、OC-48光信号フレームに従った波長 λ_n の単一波長光信号

(2.4Gbps)を次段の波長多重分離装置WMUXAの入力側に設けた光可変減衰器VATANに出力する。また、光信号受信部ORWnは単一モード光ファイバSMFを介して伝送されたきたOC-48光信号フレームに従った波長 λ_n の単一波長光信号(2.4Gbps)を前段の波長多重分離装置WMUXAの出力側の光波長デマルチプレクサRWDAより受信し、STS-48フレームに従った2.4Gbpsの電気信号を再生する。同図のEAST側にある2.4Gbps伝送装置Enは、WEST側にある2.4Gbps伝送装置Wnと同一の構成であり、光信号受信部OREnと光信号送信部OSENとを含む。光信号受信部OREnは、前段の波長多重分離装置WMUXBの出力側の光波長デマルチプレクサRWDBより、OC-48光信号フレームに従った波長 λ_n の単一波長光信号(2.4Gbps)を受信し、STS-48フレームに従った2.4Gbpsの電気信号を再生する。光信号送信部OSENは、波長 λ_n の光波を、SONETのSTS-48フレームに従った2.4Gbpsの電気信号で変調し、OC-48光信号フレームに従った波長 λ_n の単一波長光信号(2.4Gbps)を、次段の波長多重分離装置WMUXBの入力側に設けられた可変光減衰器VATBnに出力する。

【0019】10Gbps伝送装置W1、E1及び2.4Gbps伝送装置Wn、Enとも既存のSONET高速光通信網を構成する光伝送装置であり、図1の光波長多重伝送システムは、これら既存の光伝送装置の例えばWEST側光伝送装置W1~nからの光信号 λ_1 ~ λ_n を波長多重分離装置WMUXAで、最大32チャンネル分受信して、波長多重(合波)し、波長多重光信号(WDM信号)を出力する。波長多重光信号は、既存の単一モード光ファイバSMF1本に入力される。そして、単一モード光ファイバSMFの損失を補償するために、Erドープ光ファイバを光増幅用ファイバとして含む波長多重用光ファイバ増幅器を光中継器として用い、これら波長多重光信号を一括して増幅し、対向する光波長マルチ

プレクサWMUXBに伝送する。光波長マルチプレクサWMUXBは、受信した波長多重信号を各チャンネル(波長)毎の単一波長光信号 λ_1 ~ λ_n に波長分離(分波)し、EAST側光伝送装置E1~nに伝送する。同図では、10Gbps伝送装置E1と2.4Gbps伝送装置Enのみが図示されているが、波長多重伝送は、ビットレートには依存しない伝送方式であり、600Mbps伝送装置(OC-12光信号フレームに従った光信号を伝送する)等の他の異なる伝送速度(ビットレート)の光信号に特定のチャンネルを割り当てることもできる。

【0020】波長多重伝送するためには、各光伝送装置の光伝送に用いられている波長は互いに異なる必要がある。しかしながら、既存の光伝送装置が、異なる波長の光信号を出力するとは限らないので、波長多重分離装置WMUXA及びWMUXBに光信号を入力する前に、トランスポンダ(波長変換器)によって、波長多重伝送システムに都合の良い波長に波長変換されるものとする。トランスポンダは同図には示されていないが、図1において、波長多重分離装置WMUXA及びBへの入力端及び出力端に各チャンネル毎に設けられるものとする。図1では、各光伝送装置W1~Wn及びE1~Enから波長多重分離装置WMUXA及びWMUXBへの入力光波長は既存のシステム毎に異なる波長 λ_1 ~ λ_n となるように示している。

【0021】各既存の単一波長光伝送装置W1~Wn及びE1~Enから波長多重分離装置WMUXA、WMUXBに入力された波長 λ_1 ~ λ_n の光信号は、それぞれの各波長(チャンネル)の光信号毎に設けられる光可変アッテネータ(VATA1~n、及びVATB1~n)に入力される。光可変アッテネータVATに入力する各既存光伝送装置からの光信号は伝送されてくる環境が各光信号毎に異なるので、光パワーのレベルが様々に異なっている。従って、各チャンネル毎に光可変アッテネータを設けて、各光信号の光波長マルチプレクサTWMA及びTWMBへの入力レベルを調節して、各光信号が波長多重伝送システムを伝播する場合に、波長(チャンネル)毎のレベル差が生じないようにする。光可変アッテネータによって光パワーレベルが調整された光信号は、光波長マルチプレクサ(TWMA、TWMB)に入力されて、波長多重され光波長多重信号(WDM)として出力される。次に、光波長多重信号は光ポストアンプ(TWAA、TWAB)に入力され、増幅されて出力される。光ポストアンプ(TWAA、TWAB)は、波長多重用光増幅器であって、光増幅用のErドープファイバと、このErドープファイバに光増幅するためのエネルギーを供給するために通常使用する励起光源とを有する。さらに、チャンネル(波長)数の増加に応じて、増設用励起光源ユニットBSTA、BSTBが増設可能に構成されている。Erドープファイバに励起光を供給して、入力された各チャンネルの光信号をそれぞれ所定の利得で増幅し

ようすると、チャネル数に比例して励起光パワーを増加させる必要がある。従って、チャネル数の増加により、通常使用する励起光源によって供給できる励起光パワーが不足し、所定の利得で増幅できない状況になった場合は、増設用励起光源ユニットBSTA、BSTBを増設して励起光パワーを増加させる。

【0022】光ポストアンプTWAA、TWABで増幅された光波長多重信号は一部が分岐されて、光スペクトルアナライザ(SAUA、SAUB)に入力される。光スペクトルアナライザSAUA、SAUBでは、増幅された後の光波長多重信号に含まれる各チャネルの光信号のパワーレベルを検出し、適正な値になっているか否かを判断する。そして、この判断結果を各チャネルの入力毎に設けられる光可変減衰器VATA1~n、VATB1~nにフィードバックし、光プリアンプTWAA、TWABの出力が適正になるように各光可変減衰器の光減衰量を調整し、各チャネル毎の光信号のレベル調整を行う。

【0023】光波長多重分離装置WMUXA、WMUXBの内部に示されている管理装置MCAユニットとHUBAは、LSI等からなる監視装置であり、SAU1の検出結果の処理やアラーム信号などの処理を行う。詳細は後述する。

【0024】光中継器1~3は、光インラインアンプLWAW1~LWAW3及びLWAE1~LWAE3を含み、単一モード光ファイバを伝搬することによって減衰した光波長多重信号を増幅する中継局の役割をする。各光中継器1~3には、光インラインアンプLWAW1~LWAW3及びLWAE1~LWAE3に加え、増設用励起光源ユニットBSTW1~BSTW3及びBSTE1~BSTE2が設けられると共に、これらの監視装置であるHUB1~3とMCユニット1~3が内蔵される。同図では、3つの光中継器が示されているが、これは光中継器が3つに限られるというわけではなく、伝送距離に応じて必要数だけ設けられるべきものである。

【0025】光中継器3又は光中継器1から出力された波長多重光は、波長多重分離装置B又は波長多重分離装置Aに設けられた光プリアンプRWAB又はRWAAに入力され、増幅される。光プリアンプRWAB及びRWAAも、他の光ポストアンプ、光インラインアンプと同じく波長多重用光増幅器であり、ErドープファイバとこのErドープファイバに励起光パワーを供給する励起光源とを含む。波長多重分離装置B、Aには、増設用励起光源ユニットBSTB、BSTAが設けられ、チャネル数の増加により不足する励起光パワーを光プリアンプRWAB、RWAAに供給可能に構成されている。光プリアンプRWAB、RWAAは、増幅した光波長多重信号を光波長デマルチプレクサ(RWDB、RWDA)に入力され、各波長の光信号に波長分離(分波)される。波長分離された各チャネルの各光信号はトランスポンダ

によって、その後に入力される既存の光伝送装置10Gbps伝送装置E1、W1及び2.4Gbps伝送装置En、Wnで受信できる光波長に変換される。同図では波長 λ_1 の10Gbps光信号が光伝送装置E1の光信号受信部ORE1及び光伝送装置W1の光信号受信部ORW1に入力され、波長 λ_n の2.4Gbps光信号が光伝送装置Enの光信号受信部OREn及び光伝送装置Wnの光信号受信部ORWnに入力されている。つまり、一方(WEST側)の10Gbps伝送装置W1から光波長多重システムに入力された光信号は、他方(EAST側)の10Gbps伝送装置E1に伝送され、一方(WEST側)の2.4Gbps伝送装置Wnから光波長多重システムに入力された光信号は、他方(EAST側)の2.4Gbps伝送装置Enに伝送される。

【0026】同図では、10Gbps光伝送装置W1、E1及び2.4Gbps光伝送装置Wn、Enが鍵型をしており、下側の光波長多重システム(b)(上側の光波長多重システム(a)と同様の構成)のEAST側及びWEST側にそれぞれ対応する光信号送信部OSE1'、OSEn'とOSW1'、OSWn'及び光信号受信部ORE1'、OREn'とORW1'、ORWn'が設けられている。これは、光波長多重システム(a)と(b)とでループ状(リング状)のトポロジーを持つネットワーク、即ち、SONETリングネットワークを構成することを念頭に置いているからである。従って、下側の光波長多重システム(b)においては、図中、左側がEAST側、右側がWEST側となり、光信号がループ状に伝送されるように構成される。なお、光波長多重システムは、必ずしもループ状である必要はなく、直線的なネットワークにも適用が可能である。

【0027】次に、図1の光波長多重伝送システムにおいて、 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の各チャネルにより伝送される光信号のフォーマットであるSONET(Synchronous Optical Network)伝送方式で扱われる伝送フレームについて説明する。図2は、SONETで扱われる基本伝送フレームSTS-1のフレームフォーマットを示す。このSTS-1には、フレーム同期信号やパリティチェック信号などのさまざまな保守運用(監視制御)情報が格納される 9×3 バイトのオーバーヘッド10と実際の通信データが格納される 9×87 バイトのペイロード20との計 9×90 バイトの情報を有しており、SONETでは、この 90×9 バイト(=810バイト)のフレームが毎秒8000回送信されることにより、 $90 \times 9 \times 8 \times 8000 = 51.84$ Mbpsの伝送速度を持つ信号[STS-1(Synchronous Transport Signal Level 1)]が構成されている。なお、SONET伝送方式は、ITU-Tで規定される国際標準SDH(Synchronous Digital Hierarchy)に準拠した北米の同期多重伝送方式の標準である。

SDH伝送方式では、STS-1に対応するフレームをSTM-0 (Synchronous Transfer Module Level 0) と呼んでいる。

【0028】また上記のオーバーヘッド10には、図3に示すように、端局多重中継伝送装置 (LTE) と分岐挿入多重化装置 (ADM) 間もしくは、分岐挿入多重化装置 (ADM) 間での通信の際にLTE及びADMにおいて終端されて内容が付け替えられるセクションオーバーヘッド (SOH11) とLTE間での通信の際に各LTEにおいて終端されて付け替えが行なわれるラインオーバーヘッド (LOH12) とが用意されている。なお、SDHでは、セクションオーバーヘッドを中継セクションオーバーヘッド (R-SOH) と呼び、ラインオーバーヘッドを多重化セクションオーバーヘッド (M-SOH) と呼ばれ、R-SOHとM-SOHはまとめてセクションオーバーヘッド (SOH) と呼ばれる場合もある。

【0029】そして、このオーバーヘッド10には、さまざまな保守運用情報が用意されており、例えば図4に示すように、SOH11には、フレーム同期確立用のA1、A2バイトやセクション11A上での伝送誤り監視 [BIP (Bit Interleaved Parity)] バイトB1、セクション11Aでの監視制御用の通信を行なうためのデータ通信チャネル (DCC) 用バイトD1~D3 (192 kbpsのデータリンク) などが定義されており、LOH12には、ライン12A上でのBIPバイトB2やAPS (Automatic Protection Switch) バイトK1、K2、ライン12A上でのDCC用バイトD4~D12 (576 kbpsのデータリンク) などが定義されている。なお、図2、図4において、ポインタ・バイト [AU (Administrative Unit) ポインタ] 13は、伝送フレームの位相とペイロード20に格納される管理データユニット (VT: Virtual Tributary Unit) のフレーム位相との差をアドレスで示すためのもので、このポインタバイト13により、VTのフレーム同期を高速に確立することができるようにになっている。

【0030】そして、SONETでは、このようなフレーム構造を有する基本伝送フレーム (STS-1) をnフレーム分 (ただし、n=3, 12, 48, 192など) バイト単位に時分割多重化 (バイト多重) することにより、図5に示すように、STS-nフレームが構成される。例えば、STS-1フレームを3フレーム分バイト多重すれば、STS-3 (51.84 Mbps×3=155.52 Mbps)、12フレーム分バイト多重すれば、STS-12 (622.08 Mbps)、48フレーム分バイト多重すればSTS-48 (2.488 Gbps)、192フレーム分バイト多重すればSTS-192 (9.953 Gbps) という高速信号が形成される。なお、SDHでは、STM-N (N=n/3)

がそれぞれこれらSTS-nと同等の伝送速度をもった信号に相当する。

【0031】ここで、図1において説明したSTS-192 (光信号フレームではOC-192) を例にとると、そのフレーム構成は、図6に示すように、9×576 (3×192) バイトのオーバーヘッド10と、9×16,704 (87×192) バイトのペイロード20とで構成される。ただし、オーバーヘッド10の各バイトは、全てがバイト多重されるわけではなく、特別な信号 (A1, A2バイト、BIPバイトB2など) のはnバイト多重され、それ以外の制御信号は、多重化数に係わらず一定である。このため、現状では、オーバーヘッド10のほとんどの部分は未使用領域となっている。

【0032】図1の光波長多重システムでは、上述のSTS-192, 48に対応する光信号フレームであるOC-192, 48 (Optical Carrier Level 192, 48) が最大32チャネル分波長多重され、波長多重信号として一本の単一モード光ファイバで伝送される。

【0033】図1の光波長多重システムでは、光インラインアンプLWAW1~W3, LWAE1~E3からなる光中継器1~3が、単一モード光ファイバ伝送路SMFの途中に設けられている。光ポストアンプTWAA, TWAB及び光プリアンプRWAB, RWAAを含め、図1の光波長多重システムで用いられる光増幅器は、基本的には、Erドープファイバの増幅帯域 (利得帯域) 内の光信号を増幅する機能しか備えていない。しかしながら、これら光中継器1~3は、ノードW, Eから離れた遠隔地の無人局に設置される場合が多く、何らかの方法でこれら光中継器1~3を監視する機能が必要である。また、図1の光波長多重システムは、最大32波長 (チャネル) の光信号を波長多重して一本の単一モード光ファイバSMFにより伝送することが可能であるが、システム導入時は、例えば、4波長 (チャネル) 分の光信号のみを伝送し、トラフィックの増大に合わせて、チャネルを増設することがコスト的に考えて現実的である。そして、チャネルの増設は、システムの運用を継続したままで実施できることが望ましい。前述したように、チャネルを増設する場合には、Erドープファイバに供給する励起光パワーが不足することが考えられ、チャネルの増設に合わせて、増設用励起光光源BSTW1~3, BSTE1~3及びBSTA, BSTBを段階的に増設する必要があり、光中継器1~3をチャネルの増設に合わせて制御する機能が必要である。このため、図1の光波長多重システムでは、光中継器1~3の監視・制御用の信号を伝送するための光サービスチャネルOSCを、Erドープファイバの利得帯域 (通常、約1530nm~約1560nmの光波長の範囲にある) 外の波長の光信号を用いて伝送するように構成している。

【0034】波長多重分離装置WMUA及びWMUXB

では、光プリアンプTWAA、TWABにより増幅された光波長多重信号（最大32チャンネル分の光信号を含む）に、光サービスチャンネルインターフェースOSCI A、OSCI Bから出力される監視・制御用光信号をさらに波長多重して、単一モード光ファイバSMFに入力する。各光中継器1～3では、光インラインアンプLWAW1～3及びLWAE1～3への入力で、監視・制御光信号を分波し、光サービスチャンネルインターフェースOSCIW1～3及びOSCI E1～3に入力して、電気信号に変換した後、HUB1～3に監視・制御信号を転送する。また、HUB1～3から出力された監視・制御信号は、光サービスチャンネルインターフェースOSCIW1～3及びOSCI E1～3にて、光信号に変換され、監視・制御光信号として、光インラインアンプLWAW1～3及びLWAE1～3により増幅され出力される光波長多重信号とともに波長多重される。光波長多重分離装置WMUXB、WMUXAにおいては、光プリアンプRWAB、RWAAの入力で、監視・制御光信号を分波し、光サービスチャンネルインターフェースOSCI B、OSCI Aに入力して、電気信号に変換する。光波長多重分離装置WMUXB、WMUXAのHUBB、HUBAでは、電気信号に変換された監視・制御信号を解析することによって、光中継器1～3の監視及び制御が可能となる。

【0035】図7は、図1の光波長多重伝送システムにおけるチャンネル配置（波長）の一例を示す表である。ITU-T勧告草案Gmcsでは、Erドープファイバを用いた光波長多重伝送システムにおける波長（チャンネル）配置として、図7に示すように、光波長1552.52nmを基準波長とし、周波数100GHz（波長に置き換えると約0.8nm）間隔のグリッド上にチャンネルを配置することとしている。図1の光波長多重システムでは、この勧告草案に準拠し、4波長多重、8波長多重、16波長多重そして32波長多重する場合に、各波長（チャンネル）を図7中の×印で示すグリッドに配置している。そして、光サービスチャンネルOSCをErドープファイバの利得帯域（増幅帯域）外の光波長1510nmに設定している。もちろん、これらのチャンネル配置は、一例であるが、図7のチャンネル配置に従うと、16波長多重までは、Erドープファイバの利得帯域の半分の帯域を利用して光波長多重伝送することが可能であり、Erドープファイバの利得帯域（1530nm～1560nm）全てを利用する場合に比べ、Erドープファイバを含む光増幅器に要求される広帯域特性が緩和される。

【0036】次に、光サービスチャンネルOSCの伝送フォーマットについて説明する。図1の光波長多重伝送システムでは、1.544MbpsのDS1フォーマットをOSC用の伝送フォーマットとして用いる。図11

に、OSC伝送フォーマットは、1～24のサブフレームSubで1フレームを構成する。各サブフレームの間には、1ビットのフレーム同期ビットF1～F24が配置されており、これらF1～F24からなる特定のビットパターンを検出することにより、フレーム同期を取り、1フレームの先頭ビットを識別する。1サブフレームSubは、24個のタイムスロット（8bit）で構成されており、各タイムスロット1～24には、図12に示す内容のバイト情報が挿入される。また、タイムスロット23のバイト情報は、マルチフレーム構成であり、図13に示すように、サブフレームSub1～24の各タイムスロット23のバイト情報8×24ビット（24バイト）により1マルチフレームを構成している。この1マルチフレーム中、バイト1～8の内容は、以下に示す通りである。

1) バイト1～4（32ビット）

WCR1～4: Wavelength Channel Rate

各チャンネル（波長）の伝送レート（10Gbps又は2.4Gbps）を1ビットで表示する。

2) バイト5～8（32ビット）

WCS1～4: Wavelength Channel Status

各チャンネル（波長）が運用中（In-Service）か空き（Out-Of-Service）かを示す1ビットで表示する。

3) バイト9～24

Reserve（予備バイト）

これらのバイト情報の内、タイムスロット9～10、13～16、19～24は、光増幅器の制御（特に、チャンネル増設・撤去に伴う制御）に必要な制御情報を含んでおり、波長多重分離装置WMUXA、WMUXB、光中継器1～3に設けられたOSCインターフェースOSCI A、OSCI B、OSCIW1～OSCIW3において終端される。他のバイト情報は、MCユニットにて終端され、解析される。OSCインターフェースで終端される情報については、後述する。

【0037】なお、OSCの各バイト情報はCMI（Coded Mark Inversion）符号化されて伝達される。従って、図11のDS1フレームのクロック速度は1.544×2Mbpsとなる。図8は、図1における光伝送装置W1、波長多重分離装置WMUXAの詳細構成を示す図である。同図は、図1の光波長多重伝送システム（a）の上段（WESTからEAST）及び下段（EASTからWEST）の構成を一体化して構成した図であり、1つのシェルフを示している。光伝送装置W1の光信号送信部OSW1は、狭帯域光送信器1-1を備えている。狭帯域光送信器1-1は、半導体レーザLDからなる光源と、半導体レーザLDから出力される直流光をビットレート10GbpsのSTS-192信号で振幅

変調する外部光変調器Modとで構成されている。外部光変調器Modとしては、LiNbO₃結晶を用いたマッハツェンダ型光変調器を用いることができる。外部光変調器から出力される光信号(OC-192相当)は、スペクトル幅の狭い光信号である。OSW1から入力される光信号は各入力光信号毎に設けられる可変アッテネータモジュール(VATA1)に入力される。VATA1では、光カプラ2-5によって光信号の一部を分岐し、モニタ2-2で受光する。モニタ2-2は、ノードW1の光伝送装置W1の光信号送出部OSW1から出力されるOC-192信号の有無をモニタする。これは、電気信号に変換され、光サービスチャネルインターフェースOSCIAに入力される。

【0038】一方、光カプラ2-5で分岐されずに可変光アッテネータ(VATA1)2-1に入力された光信号は出力光パワーレベルが調整され、光マルチプレクサモジュールTWMAの光マルチプレクサ3-1に入力される。そして、他のチャネルに対して設けられている可変光アッテネータモジュールVATA2~VATAnから入力される波長の異なる光信号と波長多重するために光マルチプレクサモジュールTWMAに入力される。光マルチプレクサモジュールTWMAは、光波長多重信号を光ポストアンプモジュールTWAAに入力する。光ポストアンプモジュールTWAAに入力された波長多重光信号は、CPU4-1によって制御される前段光アンプ4-4によって増幅され、分散補償ファイバモジュールDCMT11の分散補償ファイバDCFに入力される。分散補償ファイバは、光プリアンプTWAAと光インラインアンプLWAW1との間の単一モード光ファイバSMFを伝搬することにより光波長多重信号の各チャネルの光信号に付加される分散を補償するための適当な分散値を有し、この分散値を各チャネルの光信号に与える。各チャネルの光信号に、適当な分散値が与えられた光波長多重信号は、後段光アンプ4-5によって再び増幅され、光カプラ4-6に入力される。光カプラ4-6で分岐された一部の光波長多重信号は、光スペクトルアナライザユニットSAUA5のスペクトルアナライザ5-2に入力され、光プリアンプTWAAにより増幅された光波長多重信号に含まれる各波長(チャネル)の光信号の波長のずれやパワーレベル等が測定される。そして、その結果はCPU5-1に入力される。CPU5-1は、スペクトルアナライザ5-2により得られた光波長多重信号のスペクトル測定の結果を処理し、VATA1のCPU2-3に結果を通知する。CPU2-3は、この測定結果に基づき可変アッテネータ(VATA1)2-1の光減衰量を制御し、波長λ1の光信号のパワーレベルを制御する。例えば、各チャネルの光信号の波長が、図7に示したグリッドから所定値(例えば、0.05nm)以上の波長ズレを検出した場合は、エラー発生と判断し、可変光アッテネータ(VATA1)2-1の減衰

量を多くして、波長ズレが検出されたチャネルの光信号を見かけ上、信号断状態に設定し、光信号を転送されないようにする。

【0039】一方、OSCインターフェースOSCIA2-4がモニタ2-2より受信した監視制御信号は、光ポストアンプモジュールTWAAのOSCインターフェースOSCIA4-3に通知される。OSCIA4-3は、受信した監視制御信号から障害有無を検出する。例えば、信号断発生が通知された場合には、可変アッテネータ(VATA1)2-1の減衰量を最大にし、光信号を光マルチプレクサTWMAに入力しないようにする。一方、OSCインターフェースOSCIA2-4から、監視制御信号を受け取ったOSCIA4-3はこれを電気/光変換器EO4-2に送り、波長1510nmの監視制御光信号に変換する。WDMカプラ4-7は、この監視制御光信号を、光プリアンプTWAAから出力される増幅された光波長多重信号に合波して送出する。

【0040】OSCIA4-3で受信された監視制御信号(OSC)の内、終端されないタイムスロット1~7, 11, 12, 17, 18の情報(オーダワイヤ信号OWやデータコミュニケーションチャネルDCC等のシステム運用者が通信する情報)は、ハブユニット(HUBA)8のオーバーヘッドシリアルインターフェースOHS8-3に送られ、アラーム検出部ALM8-5でアラーム検出が行われると共に、HUB8-2との間で処理される。ここで、各モジュールのOSCIA2-4, 4-3及びOSCI B6-3, 7-2とHUB8-2の間は、例えば、ATMセルで通信が行われ、OSCIA4-3, OSCI B6-3とOHS8-3との間は、シリアルデータで通信が行われる。OSCIA2-4, 4-3及びOSCI B6-3, 7-2は、HUB8-2から監視制御用ATMセルを受け取り、ATMセルのVCIを解析し、その内容に応じて各ユニットを制御する。また、各ユニットからの監視制御用信号を受け取りATMセル化してHUB8-2へ出力する。HUB8-2は、また、各OSCIの終端を行う。すなわち、各OSCIから送られてくるATMセルの整合を取る。即ち、送信されてくるATMセルのVCIを解析し、その内容に応じてOHS8-3への出力と各OSCIへの出力を選択して出力する。また、自ユニットの監視制御を行うモニタMON8-4とのインタフェースをする。アラームALM8-5は、各ユニットからのアラーム情報の終端及び管理装置MCAユニットとのインタフェース信号のエラー等の情報を監視する。モニタMON8-4は、HUB8-2から出力されるMCAユニットからの制御情報を基にATMセルから情報を抜き出し、制御を行う。また、ユニット内で検出したアラーム情報などをATMセル化してHUB8-2に出力する。

【0041】HUB8-2からは、各情報が、光/電気変換器8-1を介して、光信号であるOC-3信号(1

50Mbps) を使って管理装置Management Complex (MCAユニット) へ送信される。MCAユニットでは、光/電気変換器(E/O, O/E) 9-3で信号の授受が行われ、パーソナルコンピュータインターフェースPCI 9-1で監視制御情報とオーバーヘッド情報とが分別される。オーバーヘッド情報はOH-MTRX 9-2に送られ、オーバーヘッドの処理が行われる。監視制御情報は、コンソール端末としてのパーソナルコンピュータに送られ終端される。MCAユニットは複数のシェルフに共通に設けられ、例えば、最大6シェルフまで制御可能である。

【0042】一方、波長多重分離装置WMUXAの受信側では、光中継局1から単一モード光ファイバSMFから波長多重光信号を受信すると、光プリアンプモジュール(RWAA) 6のWDMカプラ6-6で監視制御光信号(波長1510nm)を分波し、光/電気変換器6-2で電気信号に変換してOSCインターフェースOSCIB 6-3で終端する。更に、OSCIB 6-3は、OHS 8-3からオーバーヘッドの情報を取得し、HUB 8-2とコミュニケーションを取ることによって、監視制御情報やオーバーヘッド情報に基づいてCPU 6-1を介して前段光アンプ6-4、後段光アンプ6-5を制御する。前段光アンプ6-4と後段光アンプ6-5の間には、分散補償のための分散補償モジュールDCMRが設けられており、分散補償ファイバDCF中を受信した波長多重光信号が伝搬することによって、光中継器1と波長多重分離装置WMUXAとの間の単一モード光ファイバを伝送することによって各チャネルの光信号に付加された分散を補償するように構成されている。

【0043】光プリアンプRWAAによって増幅された波長多重光信号は、光デマルチプレクサモジュールRWDAの光デマルチプレクサ7-1によって各波長の光信号に分離(分波)され、光伝送装置W1の光信号受信部(ORW1) 10の受光器であるPINフォトダイオード(PINPD) 10-1で受光され、1.0GbpsのSTS-192信号に光電気変換される。

【0044】図9は、光中継器1の構成を示す図である。単一モード光ファイバSMFからの波長多重光信号は、同図の中継局のシェルフにOPT-IN1~4のいずれかから入力し、対応するボード31に配置された光インラインアンプモジュール(LWAW1) 31に入力する。最初に、WDMカプラ31-7で監視制御光信号が分離(分波)され、光/電気変換器31-3で電気信号に変換され、OSCインターフェース(OSCIW1) 31-6に入力される。OSCIW1は、この監視制御信号の内、前述したように、光増幅器の制御に必要な制御情報を含むタイムスロット8~10、13~16、19~24を終端し、その他の情報をOHS 32-3へ送信する。また、終端した情報は、HUB 32-2へ送信する。HUB 1モジュール及び管理装置MCの動

作は、図8と同様である。

【0045】監視制御信号を受け取ったOSCIW1(31-6)では、HUB 2ユニット32との間のコミュニケーションにより情報を処理し、その結果に基づいて、CPU 31-5に制御信号を出して、前段アンプ31-1、後段アンプ31-2の増幅率などを制御する。WDMカプラ31-7で分岐されなかった波長多重光信号は、CPU 31-5で制御される前段光アンプ31-1で増幅され、分散補償モジュールDCMで分散補償を受け、同じくCPU 31-5で制御される後段光アンプ31-2で再び増幅される。そして、WDMカプラ31-8で電気/光変換器31-4で光信号に変換された監視制御信号と合波され、OPT-OUT1~4から出力される。

【0046】図9の光中継局は、1つの光インラインアンプモジュール(LWA) 31を1つのシェルフとして搭載しており、これらが4つ搭載可能であることが図示されている。このように、光部品を1つのシェルフに収めることによって、扱いやすい光装置を組み立てることができる。

【0047】図10は、図1には図示されていなかったが、光信号の波長を変換するために使用されるトランスポンダの構成を示す図である。トランスポンダの入力側からはOC-48の光信号が入力される。この光信号は、光電変換モジュール41の2.4Gbpsの光/電気変換器(O/E) 41-1に入力される。この光/電気変換器41-1からは2.4Gbpsのデータと2.4Gbpsのクロックが出力される。同時に、図2で説明したオーバーヘッド情報などの情報がオーバーヘッドインターフェースOHS 41-3に入力され、HUB 42へ信号が送られる。その他に、光電変換モジュール41のボードの裏側に将来のアップグレードのために配線を行い、OHS 42-3に入力するように構成しておく。

【0048】前述したように、OHS 42-3では、オーバーヘッド情報のやり取りが行われ、HUB 42-2では、OHS 41-3からの信号の終端を行う。HUB 42-2からは、情報が光/電気変換器42-1を介してMCユニットのHEDモジュール43に光信号として送られ、光/電気変換器43-3によって電気信号に変換される。電気信号に変換された情報は、PCI 43-1でオーバーヘッド情報と監視制御情報とが分離され、OH-MTRX 43-2でオーバーヘッドが処理される。その他の制御情報は、コンソール端末としてのパーソナルコンピュータPCによって処理される。

【0049】OHS 41-3は、電気/光変換器41-2を制御して、2.4Gbpsの光信号OC-48を生成し、出力する。この時、光信号(OC-48)の波長は、波長多重システムにより割り当てられたチャネルの波長に変換する。

【0050】同図では、光電変換モジュール41のシェ

ルブが1~16まで搭載できるように記載されている。このそれぞれのシェルフのOHS41-2からHUBモジュール42にオーバヘッド情報や監視制御情報が集められ、処理される。このように、トランスポンダを各シェルフとして構成しておき、これらを1つのラックに収めるようにしたことにより、光配線及び電気配線をこれらのシェルフ間で接続するだけでよいので、非常に操作性の良い光装置を製造することができる。

【0051】図14は、図8のRWAAに設けられるOSCIB6-3の一部構成を示す図である。O/Eモジュール6-2に入力した監視制御信号は、光信号から電気信号に変換され、変換されたデータと光信号に基づいて生成されたクロック信号がそれぞれCMIデコーダ52に入力される。そして、データはCMIデコーダ52でデコードされ、フレーム同期部53に入力される。このとき、上記クロック信号も同時にフレーム同期部53に入力される。フレーム同期部53は、監視制御信号のデータフレームを検出する。この検出結果は保護部55に入力され、フレームの生じるタイミングの一致を測り、所定回数一致が得られた場合に、フレームの同期が取れたとする信号をフレーム同期部に送信する。一方、PG54は、CMIデコードされる前の信号からクロックを抽出し、保護部55からのフレームの生じるタイミングを受信して、同期を確立するためのクロックを提供する。生成されたクロックは、フレーム同期部53に入力され、フレーム同期部53のフレーム検出に使用される。フレームの同期が取れると、クロック信号とともにフレーム同期処理が行われたデータがデマルチプレクサ58に入力され、光アンプ用監視制御信号(WCF; Wavelength Channel Failure、WCR; Wavelength Channel Rate、WCS; Wavelength Channel State)が抽出される。BIP演算部56は、フレーム同期部53からの出力からパリティを取得し、比較器57に送る。比較器57は、デマルチプレクサ58から出力される監視制御信号のパリティビットと比較し、パリティの一致が得られた場合に各監視制御信号を保持部59に保持せずそのまま出力する。保持部59から出力される監視制御信号は、直接図8のHUBAモジュール8に送られると共に、三段保護部60を経て、セクタ61に入力される。セクタ61にはオペレータから入力されるWCRやWCS等の監視制御信号(プロビジョン; provisionとして示されている)が同じく入力されている。これらは、オペレータが操作するソフトウェアから送られてくるものである。セクタ61は、受信した監視制御信号とオペレータから入力された監視制御信号のいずれかを、同じくオペレータから所定のソフトウェアを介して入力されるオーバライド(Override)信号の入力を受けて、選択してTWAを制御するローカルなCPU4-1に出力する。

【0052】比較器57におけるパリティチェックの段

階でエラーが生じている場合には、前の状態である監視制御信号のWCF、WCR、WCSのそれぞれを保持部59に保持して出力しないようにする。そして、エラーが解消するのを待ち、エラーが解消した場合に、保持部59からWCF、WCR、WCSがHUBAモジュールに送出される。

【0053】図15は、図8のTWAAに設けられるOSCIA4-3の一部構成を示す図である。TWAモジュールのOSCインタフェースOSCIA4-3は、VATAモジュールのOSCIA2-4よりWCF、WCR、WCSの監視制御信号を受け取る。一方、オペレータからの入力として、WCR及びWCSを受け取る。WCF1~32は、ハードウェアが自装置の状態をモニタして生成する信号であり、マルチプレクサ72に入力されると共に、チェック処理部71に入力される。チェック処理部71では、どのような信号が送られてきているかをチェックしており、各信号のモニタや、パリティチェック等も行う。このチェック内容に従ってマルチプレクサを制御してWCF1~32を多重して出力するようにする。また、19MbpsのATMインタフェースからはプロビジョン部73にWCR及びWCSが入力される。ここでは、オペレータの入力をVATモジュールからの入力と切り替えるか否かが判断される。同じく、WCFに対してもモード設定が行われ、VATモジュールのOSCIA2-4から送られてくるWCFをマルチプレクサ76に入力するか、オペレータからの入力をマルチプレクサ76に入力するかが設定される。

【0054】いずれにしても、マルチプレクサ76には、VATのOSCIA2-4からの監視制御信号がオペレータからの監視制御信号が入力される。コンディショニング部74は、各監視制御信号(WCF、WCR、WCS)としてどのような信号が入力されているかをモニタするものである。

【0055】マルチプレクサ76は、これらWCF、WCR、WCSの監視制御信号を多重して、フレーム生成部79に入力する。BIP演算部75は、マルチプレクサ76が出力する信号からパリティを読み取りこれをマルチプレクサ76の入力にフィードバックしてパリティビットに設定するものである。

【0056】フレーム生成部79には、PG78からのクロックが入力される。このクロックは、49MHzの発振器(XO)82から出力された周期波をデジタルPLL77で位相制御し、PG78でクロック信号に加工されたものである。フレーム生成部79は、マルチプレクサ76にPG78からのクロック信号を入力し、マルチプレクサ76は、このクロック信号に基づいて信号の多重を行う。フレーム生成部79で生成されたデータフレームは、クロック信号とともにCMI符号化部80に入力され、CMI符号に符号化されたあと、やはり、クロック信号と共にE/Oモジュール81に入力され、電

気信号から光信号に変換されて、光アンプで増幅された主信号に監視制御信号として合波される。

【0057】図16は、図9の中継局のLWAW1モジュールに含まれるOSCインタフェースOSCIW131-6の一部構成を示す図である。同図のOSCIW131-6は、図14のOSCIA2-4の出力と図15のOSCI B6-3の入力とを接続したような構成となっている。即ち、カプラで分離された監視制御信号がO/Eモジュール91に輸入され、電気信号に変換される。電気信号に変換された監視制御信号は、クロック信号とともにCMIデコーダ92に輸入されてCMIデコードされ、やはり、クロック信号とともにフレーム同期部94に輸入される。保護部95は、前述したように、フレームの同期が所定回数得られたか否かを判断する部分であり、PG93は、CMIデコードされる前の電気信号からクロック信号を読み取り、保護部95からのフレームの同期信号と合わせて、フレーム同期確立用クロックをフレーム同期部94に輸入する。

【0058】フレーム同期がとられた電気信号の監視制御信号は、PG93で生成されたクロック信号とともにデマルチプレクサ97に輸入され、各監視制御信号(WCF、WCR、WCS等)に多重分離される。パリティビットは比較部98に輸入され、BIP演算部96がフレーム同期のとれた電気信号から読み取ったパリティと比較される。パリティの一致があった場合には、多重分離された各監視制御信号は保持部99をそのまま通過し、マルチプレクサ104に輸入される。パリティが一致していない場合には、パリティの一致が得られるまで各監視制御信号は保持部99に保持される。

【0059】保持部99から出力される各監視制御信号は、三段保護部100に送られ、三段保護が取られた後、セクタ102に輸入される。オペレータからは、19MbpsのATMインタフェースでプロビジョン部101に命令が輸入され、オペレータ入力(WCRやWCS)がセクタ102に輸入される。そして、同じく、オペレータから輸入されるオーバーライド信号により、ローカルなCPUに受信された監視制御信号かオペレータからの入力による監視制御信号のいずれかが送られる。

【0060】また、プロビジョン部101は、受信した各監視制御信号を出力側へ送るか、オペレータからの入力による各監視制御信号を出力側へ送るかのモード設定を行う。このモード設定にしたがって、マルチプレクサ104には、受信された監視制御信号か、オペレータからの監視制御信号のいずれかが入力され、多重される。なお、WCF信号については、オペレータが設定することができないパラメータであり、モードの切替は行われない。BIP演算部103は、マルチプレクサ104から出力された信号からパリティを読み取り、これをパリティビットとしてマルチプレクサ104の入力側にフィードバックして、パリティビットの設定を行う。

【0061】フレーム生成部105には、発振器109から出力された49MHzの周期波をデジタル的に位相制御し(DPLL107)、クロック信号に構成された(PG106)信号が輸入され、フレームの生成に使用される。また、前述したように、このクロック信号はマルチプレクサ104にも入力され、信号多重のためのタイミングを与える。フレームに組み立てられた監視制御信号はクロック信号とともにCMI符号化部108で符号化され、同様に輸入されるクロック信号に基づいてE/Oモジュール110で電気信号から光信号に変換されて、光アンプで増幅された主信号と合波されて伝送路に出力されていく。

【0062】図17は、図14～図16のRWAA、TWAA及びLWAW1に設けられるOSCインタフェースOSCI B、OSCI A、OSCI W1とオーバーヘッドシリアルインタフェースOHSとのインタフェースを説明する図である。

【0063】同図(a)に示されるように、HUBモジュールのOHS LSIとTWAA、RWAA及びLWAW1等のOSCインタフェースのOSCI LSIとの通信は、19Mbpsのシリアルデータケーブルで行われる。通信は双方向とするために2本のケーブルが設けられている。

【0064】同図(b)は、OHSからOSCIへ送信されるデータの形式を示した図である。データの最初のビットはスタートビットであり、これを検出することにより、データが到着したことを認識することができる。その後にはデータが続く。データは、32バイトあり、データの受信中にパリティを算出し、データの最後に付加されているパリティビットと比較してデータが正常に受信されているか否かを判断する。同図では、パリティは「奇」であるとしている。そして、パリティビットの後には、ストップビットが設けられ、データの終わりであることを示す。

【0065】同図(c)は、OSCIからOHSへ送信されるデータの形式を示した図である。この場合は、同図(b)と基本的に同じデータ形式を取っており、スタートビットから始まり、32バイトのデータ領域そして、パリティビットと続き、最後にストップビットでデータの終了となる。やはり、データ領域を受信中にパリティを検出し、最後にパリティビットの示す値と比較して、一致すればデータが正常に受信されたと判断し、一致しなければデータが正常に受信されなかったと判断する。

【0066】図18は、光波長多重増幅器を用いた光波長多重伝送システムにおける信号対雑音の関係を示す図である。同図では、直線型の通信経路を構成するシステムを記載しているが、ループ状のシステムでも同様である。

【0067】同図の光波長多重伝送システムは、光ポス

トアンプTWAAと、光信号を伝播させる単一モード光ファイバ伝送路SMFと、光プリアンプRWABと、伝送路SMFに設けられる光インラインアンプLWAW1～3と、光サービスチャネルにより伝送される監視制御光信号処理部OSCI A, OSCIW1, OSCIW2, OSCIW3及びOSCIB。同図下に示されているのは、光ポストアンプTWAAからの距離と伝播される光信号のパワー及び光アンプにより付加される雑音(ASE雑音等)の変化を示したものである。光ポストアンプTWAAで増幅された光信号は、伝送路SMFAを伝播し、光インラインアンプLWAW1に入力するころには、パワーが弱くなっている。そして、この小さくなった光パワーが光インラインアンプLWAW1で増幅されて送信され、伝送路SMFW1で同様に減衰を受ける。光信号が伝送路SMFを伝播される間には、光信号受信部で受光され、電気信号に変換されて信号再生されるまでは、このようなことの繰り返しであり、伝送路SMFの損失によって小さくなった光信号を光アンプで増幅して送信することを繰り返す。Erドープファイバを有する光アンプで光信号を増幅する際には、雑音、特にASE(Amplified Spontaneous Emission)雑音が光信号に付加される。雑音も、伝送路SMFを伝播する間に減衰するが、光信号とともにこの雑音も光アンプにより増幅されることになる。

【0068】伝送路SMFは、一般には、様々な製造会社のものや、製造年度のものが使われるので、伝送路SMFの損失特性は一樣でない。すなわち、光アンプ間の距離(SMFの長さ)が異なったり、透明度の悪い光ファイバSMFであったり、光ファイバSMFの切断時の修理等により、光アンプLWAW1～3, RWABは、様々な光入力パワーの違いを吸収し、一定の出力まで光信号を増幅して出力しなくてはならない。

【0069】WDM光通信システムでは、複数のチャネルの光信号(主信号)が波長多重されて送信されると共に、伝送状態の監視及び制御を行うための光サービスチャネルにより監視制御信号(SV信号; Supervisory 信号)が同様に波長多重されて、送信される。光インラインアンプLWAW1～3, 光プリアンプRWABでは、主信号は増幅される、SV信号は別に多重分離され、SV信号処理部OSCIW1～W3で別途処理されて、主信号に再び波長多重されて送出される。

【0070】図19及び図20は、図1の波長多重伝送システムに用いられる波長多重用光増幅器(TWAA, LWAW1～3, RWAB)の構成図である。同図の光増幅器は、図1にて説明したように、最大32チャネルの異なる波長が波長多重されて伝送されるシステムであって、主信号(OC-48, OC-192)を運ぶ32波長の光信号のほかに、システムの監視制御を行うための監視制御信号(SV信号; Supervisory 信号)が上記

32波長の光信号とは異なる波長(光サービスチャネル; Erドープファイバの利得帯域外の波長; 1510 nm)で波長分割多重されて伝送される。

【0071】波長多重信号が光インラインアンプに入力すると、まず、WDM1カプラによってSV信号のみが抽出される。抽出されたSV信号は更に、WDM2カプラに入力され、再びSV信号が抽出される。このように、SV信号を2つのWDMカプラに通過させるのは、1つのWDMカプラを通過させただけでは波長の分離が完全でなく、主信号の波長の光信号の一部が現れてしまうので、WDMカプラを2段階に設けてSV信号を抽出することにより、主信号の波長成分を完全にフィルタリングしてSV信号のSN比(信号対雑音比)を高めて受信することを意図したものである。分離されたSV信号は同図の主信号の光インラインアンプ外に出力され、SV信号処理部(OSCI)で処理される。そして、後に説明するように、再び、主信号と合波されて伝送路SMFに出力される。

【0072】WDM1でSV信号が取り除かれた光信号はビームスプリッタ(BS)1に入力される。このBS1では、主信号全体のパワーを、例えば、10:1に分岐するものであり、アイソレータ(ISO)1には、10:1に分岐された光信号のうち10/11が伝送用として出力される。

【0073】BS1で10:1に分岐された光信号のうち、1/11は光入力モニタ用としてWDM3に入力されて、主信号以外の波長成分が取り除かれ、フォトダイオード(PD)1で受信される。このPD1で受信された主信号の信号レベルは、AGC/APC(Automatic Gain Control/Automatic Power Control)モジュールに、増幅媒体EDF1(Erドープファイバ)への入力側のパワーレベルとして入力される。

【0074】アイソレータ1に送られた光信号は、そのまま1段目(前段)の光増幅部であるEDF1に入力され増幅される。光信号を増幅するためのエネルギー(励起光パワー)は、980nmの出力波長を有するレーザーダイオードLD1と、それぞれ1460nmの出力波長を有するレーザーダイオードLD2、LD3から供給される。LDの出力パワーが1つで所要値が得られれば、LD2とLD3は、もちろん一つで良く、更に、LD1のみで前段光増幅部の所要パワーが得られればLD1のみでも良い。LD1からのポンプ光はWDMカプラによってEDF1に入力される。ここで、WDMカプラが0.98WDMと記載されているのは、合波されるポンプ光(980nmまたは0.98μm)のパワーレベルの損失がほとんど無く、合波されることを意味している。EDFに送るポンプ光がWDMカプラで合波される際に大きな損失を被るのでは、LD1の出力の多くが無駄になってしまうので、このように特にロスが少ないWDMカプラを用いている。

【0075】LD1は出力波長が980nmであり、EDF（エルビウムドープファイバ）の980nmの吸収帯域を利用してドープされたEiイオンのエネルギー準位を励起し、誘導放出作用に基づいて、入力される波長多重光を増幅する。EDFの980nm増幅帯域は動作帯域幅（波長幅）が狭いので、LD1の発振波長を安定化させることが好ましく、光フィルタ等を用いて正確に980nmの励起光を抽出することが考えられる。一方、LD2、LD3のポンプ光は、それぞれ垂直方向と水平方向に偏波しており、EDF1に接続された偏波ビームスプリッタ（PBS）によって偏波合成されるため、損失なく、2つのポンプ光を合成できる。更に、偏波合成されたポンプ光は、WDMカプラによってEDFに送られる。LD2、LD3からPBSにポンプ光を送るための伝送路は、各レーザダイオードLD2、LD3の出力するポンプ光（レーザ光）の偏波を保存するような、偏波保存ファイバであり、いわゆるPANDAファイバ等が使用される。このように、LD1のポンプ光は前方励起として使用され、LD2、LD3のポンプ光は後方励起として使用される。従って、LD1のポンプ光は主信号の伝播方向と同方向に進行するが、LD2、LD3のポンプ光は主信号の伝播方向とは逆の、光インラインアンプの入力側に向かって進行する。ISO1は、LD2、3のポンプ光が逆流するのを防ぐために設けられている。しかし、LD2、LD3のポンプ光を完全に遮断できない。従って、そのままでは、PD1によって、このポンプ光が受信されてしまう可能性がある。このようなことが起こると、主信号の実際の入力パワーレベルを検出することが出来ず、AGC/APC制御に問題を生じるので、BS1により10:1に分岐された1/11の入力モニタ用の波長多重光は、さらに長波長パスフィルタ（LWPF; Long Wavelength Pass Filter）を透過する。これにより、LD2、3のポンプ光の逆流を防いで、PD1が主信号（波長多重光）のみを受信できるようにしている。

【0076】EDF1に増幅のためのエネルギーを与えるために、980nmの発振波長を有するLD1と1460nmの発振波長を有するLD2、LD3が使用されている。これは、EDFに十分な増幅エネルギーを供給するために行われている。すなわち、一例として、1つのLDのみでは、十分なポンプ光パワーが得られないので、複数の（レーザダイオード）LDを使用しているのである。また、LD1は前方励起に使用されており、主信号がEDFに最初に入射する時点の減衰された主信号の増幅に寄与する。主信号がEDF1のEDFに入力の際には、主信号は、長距離の光伝送路SMFを伝播してきているので、光パワーが小さくなっている。EDFでこのような光信号を増幅する場合には、ノイズの発生が避けられないが、EDFの980nm帯域では、増幅する際のノイズの発生が小さく抑えられる（理論限界に近

い約3dBを達成する）ので、減衰した主信号を増幅する際に、主信号をノイズに埋れさせないようにすることができる。ただし、980nm帯域は、ポンプ光のエネルギーを主信号のエネルギーに変換する効率が、1460nm帯域に比べ、やや落ちるので、光信号を増幅する際に、始めのうち980nm帯域で増幅し、後に、LD2やLD3等の1460nm帯域で増幅するようにしている。即ち、LD2、LD3の励起方法は後方励起であり、EDFを伝播してきた光信号がLD1のポンプ光で、SNを劣化させずに、ある程度増幅された後に、LD2、LD3のポンプ光によって増幅されることになる。LD2、LD3の発振波長である1460nm帯域におけるEDFの増幅特性は、ノイズの発生がやや大きい、ポンプ光のパワーを主信号のパワーに変換する効率が良く、大出力の主信号を得ることが出来る。980nmLD一台（LD1）で前段光増幅部に必要なポンプ光のパワーが得られるならばLD1のみでLD2と3は必要ない。

【0077】図21は、EDFの励起帯域の特性をまとめた表である。同図に示されるように、EDFには、実用化されている2つの帯域があり、1つは、980nm帯であり、もう1つは、1480nm帯である（前段増幅部には1460nm; 1450~1470nmを用いる）。980nm帯の励起バンド（EDFの吸収帯域）はほぼ970~985nmの15nmの幅をもっている。アンプのNF（雑音指数）は低雑音で理論限界である3dB程度が達成される。しかし、ポンプ光の光信号へのパワーの変換効率は63%以上とあまり高くない。

【0078】1480nm帯は励起バンド（吸収帯域）がほぼ1450~1500nmの50nmあり、この内、前段増幅器のLD2とLD3には1460nm帯; 1450~1470nmを用いる。比較的帯域幅が広いので、ポンプ光の波長が少々ずれても増幅作用を得ることができる。アンプのNFは4.5dBとやや大きい、ポンプ光の光信号へのパワーの変換効率は95%以上と非常に高い値を示し、効率的な増幅作用を得ようとする場合には、1460nm帯を使用する。

【0079】図19、20の説明にもどる。EDFモジュール1で増幅された光主信号は、アイソレータISO2を通過し、ゲインイコライザGEQ1に入力される。ISO2は、GEQ1及びコネクタ1からの戻り光を遮断するために設けられている。GEQ1及びコネクタ1からの戻り光があると、EDF1はこの戻り光に対し敏感に反応し、発振してしまう。したがって、EDF1の動作が不安定になり、光増幅器のパフォーマンスが悪くなってしまう。そこで、この部分にISO2を設けて、EDF1の動作が不安定にならないようにしている。また、前述のISO1もLD2、LD3の戻り光が光インラインアンプLWAW1の入力部に設けられているコネクタに達して反射し、EDF1が発振を起こさな

いようにしている。

【0080】GEQ1は、EDFのゲイン特性を平坦化する為に設けられているフィルタである。EDFのゲイン特性は図22(a)に示されているように、1530nm～1560nmの間で波打った形の特性を有している。従って、この波長範囲に波長多重される各チャンネルの波長(主信号)が配置された場合、山にあたる場所の増幅率が高く、谷にあたる部分の増幅率が小さい。従って、波長多重された主信号をEDFで増幅すると、各波長の光信号毎に増幅利得が異なってしまい、増幅された波長多重光において異なる波長間でレベル差を生じてしまう。ところで、伝送路を伝播される光信号は、ノイズに埋もれないためにある程度パワーが大きい必要があるが、パワーが大きすぎても自己位相変調、相互位相変調、四光波混合等の非線形効果が顕著になり、波形劣化を起こしてしまう。従って、伝送路を伝播される光信号には波長毎に光パワーの上限と下限とがあり、この間に各波長の光信号のパワーが収まっていなくてはならない。ところが、波長毎にパワーレベルが異なると、最もレベルの高い波長の光信号が上限を超えないように設定しなくてはならないので、他の波長の光信号は、パワーが大きいほうが好ましいにも係わらず、上限値いっぱいまでパワーを上げることができないことになってしまう。従って、波長毎にノイズに対する信号のパワーの比(S/N比)が劣化してしまい、伝送システムとしては、パフォーマンスが悪いことになってしまう。しかし、全ての波長の光信号が同じパワーレベルに揃っていれば、全ての波長の光信号を上限値ぎりぎりまで増幅することが出来るので、伝送システムのパフォーマンスを高めることができる。そこで、GEQ1を設けて、EDFのゲインの波長の変化による変動をなくすようにする。GEQ1は、図22(b)に示されるように、EDFのゲインの大きいところでは透過率が低く、ゲインの低いところでは透過率が高くなるように製造されたフィルタであり、EDF1で増幅された波長多重光をこのようなフィルタに通すことによって、図22(c)に示すような、実質的にフラットな特性のゲインを得ることができる。このようにして、ゲイン特性をフラット化した光出力をBS2で分岐し、PD2でその出力光を受光する。PD2で受光した結果は、出力光レベルとしてAGC/APCモジュールに入力される。AGC/APCモジュールでは先にPD1で受信した、EDF1への入力端でのパワーと、PD2で受信したEDF1の出力端でのパワーとを比較し、増幅率(利得)が一定になるようにLD1～3のポンプ光のパワーを制御する。このようにして、EDF1の自動利得制御がAGC/APCモジュールにて行われる。なお、APCは、各励起光源LD1～3の出力光パワーが一定になるように制御するものであって、一般的には、LD1～3のバック光あるいはバイアス電流をモニタして、出力光レベルが一定となるよう

に制御するものである。

【0081】GEQ1にEDF1からの出力を通過させてからAGC/APCモジュールにフィードバックするのは、ゲインが平坦化されていない出力をフィードバックしても、各波長のパワーにばらつきが有ることと、GEQ1によるゲインの損失があることにより、GEQ1を通過する前の出力をフィードバックしても正確なAGC/APCができないからである。

【0082】また、ゲインイコライザーを使うと次のような利点がある。図19、20の波長多重用光増幅器では、最大32波までの波長多重光を増幅可能であるが、32波全部を使わない場合には、どの波長の光信号を使用するかはシステムを購入し、敷設するユーザの選択に依存している。従って、どの波長の光信号が使われるかわからないのであるが、ゲインが平坦になっていないと、使用される波長毎にシステムのパフォーマンスが異なってしまい、安定した伝送特性を提供することができない。しかし、ゲインイコライザーを使用して、EDFのゲイン特性を平坦化しておくことにより、どの波長の光信号を使用したとしても、光インラインアンプの増幅利得をほぼ同じにできるので、安定したシステムパフォーマンスを実現することができる。

【0083】このように、光インラインアンプの前段でAGC/APCを行うのは、光インラインアンプに入力する光信号のパワーが、光インラインアンプが取り付けられる場所によって変化するからである。すなわち、光伝送路に使用される光インラインアンプ間の光ファイバの長さが、システムの構成によって様々に異なることが有り、また、使用される光ファイバも現在製造されているものは透明度が良くロスが少ないが、昔製造された光ファイバは透明度が悪くロスが大きい等により、光インラインアンプに入力する光信号のパワーレベルが一定の値とはならないからである。しかし、光インラインアンプとしては、どのような条件で設置されても、同じ光インラインアンプが正常に動作する必要があるので、入力波長多重光信号のパワーレベルが異なっても同様に動作すべきだからである。AGC/APCは、入力波長多重光信号のレベルが異なっても、ゲインを一定にして、各チャンネルの光信号に対してほぼ同じ利得で増幅することが出来るのである。しかし、利得が一定であっても、入力波長多重光の入力レベルが異なると、EDFから出力される増幅後の波長多重光の出力レベルが異なることになる。入力レベルの違いによって光インラインアンプの出力レベルが変わっては、標準化してシステムを設計する場合に問題が生じるので、BS2を通過した主信号(波長多重光)は、可変アッテネータ(VATT)に入力される。更に、入力が高くなると励起パワーがリミットに達するとAGCからAPCへ切り替わる。この場合、各EDF(EDF1、EDF2、EDF3)のゲイン(dB)の和が一定であれば利得の波長特性は維持で

きるので、EDF1のゲイン(dB)の低下分を後段増幅部(EDF2またはEDF3)で補う。

【0084】可変アッテネータモジュールに設けられる可変アッテネータは、印加する電圧値により、光の減衰量を調整することができるもので、AGC/APCで増幅された波長多重光信号の出力パワーレベルを調整することができる。可変アッテネータを通過した光信号は、BS3によって分岐され、一方がPD3によって受信される。PD3によって受信された光信号のパワーレベルは、ALCモジュールに入力され、光信号のパワーレベルが一定値に調整される。ここで、光信号のパワーレベルの調整をするのは、コネクタ1、2で接続される分散補償モジュール(DCM; Dispersion Compensating Module)の分散補償ファイバ(DCF; Dispersion Compensating Fiber)に適切なパワーレベルの波長多重光信号を入力するため、可変アッテネータの動作を安定化させるためである。DCMは、光信号が光伝送路を伝播する間に受ける分散による波形の劣化を補償するものである。このDCMのDCFを使って有効に光信号の波形劣化の補償を行うためには、入力する光信号のパワーレベルをノイズに埋もれない程度に大きく、また、DCF内で非線形効果を生じない程度にパワーレベルを抑えている必要がある。特に、DCFは、コア径が通常のSMFより小さく(約3~4 μ m)光パワーが集中するため、非線形光学効果が発生しやすい。従って、DCFの非線形効果を抑えるためには、厳しく入力光信号のパワーレベルの上限を守る必要があるため、BS3の部分でALCを行い、光信号のパワーレベルを調整しているのである。

【0085】DCFに入力した光信号は、分散補償を受けコネクタ2から再び後段(第二段)光増幅部を構成するEDF2に入力される。この光信号は、BS4で分岐され、PD4で受信される。ここでの光信号の入力パワーレベルの受信は、DCMがコネクタ1、2に接続されているか否かを判断するために行われるものである。すなわち、DCMが外れていると、EDF1で増幅された光信号がそのまま外部に放出されてしまうので危険である。そこで、PD4では、EDF1からの光信号(波長多重光)がDCMを通過して来ているか否かを判断するための受光を行う。受光結果は、AGC/APCモジュールに送られ、光信号が送られてきている場合には、特に処理は行わないが、光信号入力レベルが所定値以下の場合には、DCMと前段光増幅部及び後段光増幅部を接続する光コネクタ1、2のいずれか、または両方が外れていると判断し、EDF1における増幅率(利得)を低下させて、光信号の強度が危険でない程度にするか、あるいは、LD1~3からのポンプ光の供給を止めて増幅動作を停止するなどの処理を行う。これにより、DCMが外れている場合にもコネクタ1から出力される光信号のパワーレベルが小さくなり、近くに作業者がいたとして

も危険な状態に陥ることはない。

【0086】また、PD4の受光結果は図20のAGCモジュールに入力され、AGCのための入力側光信号パワーレベルを与える。BS4を通過した主信号は、光アイソレータISO3に入力され、そのまま通過する。ISO3は、図20のEDF2-1がコネクタ2からの反射光によって発振しないように光の通過方向を一方に定めているものである。ISO3を通過した光信号はEDF2-1に入力され増幅される。EDF2-1のポンプ光は、発振波長980nmのLD4から供給される。LD4からのポンプ光はWDMカプラで光信号に合波されてEDF2-1に送られる。ここで、前述したように、WDMカプラは非常に合波する場合のロスが少ないもので、特に、0.98WDMと記載されている。EDF2-1においては、980nm帯のポンプ光のみで増幅が行われる。前述したように、980nm帯ではノイズの発生を理論限界値程度まで抑えることが出来るので、弱い光信号を増幅するのに有効である。すなわち、EDF2-1に入射する光信号は、先に、10km程度の長さのDCFを通過しているため、光信号パワーが減衰されている。DCFはSMFに比べて、損失が大きく、例えば、1000ps/nm程度の分散を補償するためには、DCFの損失は、10dB程度にもなる。EDF2-1に入力される波長多重光は、このように大きな減衰を受けているので、980nm帯のポンプ光を用いて、ノイズを抑えた増幅を行う。LD4はAGCモジュールからのフィードバック制御を受け、EDF2-1でのゲインを調整するために出力パワーを変化させる。

【0087】EDF2-1で増幅された光信号は光アイソレータISO4を通過し、ゲインイコライザGEQ2に入力される。このGEQ2の作用は、図22を用いて説明した通りであり、EDF2-1とEDF2-2のゲイン特性をフラットにするためのものである。ISO4は、GEQ2からの反射光をEDF2-1に入力しないようにしているもので、やはり、戻り光によるEDF2-1の発振を防いでいるものである。GEQ2をEDF2-1とEDF2-2との間に入れるのは、NF(雑音指数)を低く抑えて、励起パワーから信号光パワーへの高い変換効率を維持するためである。

【0088】GEQ2を通過した光信号は、WDMカプラ及び光アイソレータISOを通過し、EDF2-2に入力される。このWDMカプラからは図19の増設用励起光源ユニットであるブースタBST2からの励起光が入力される。BST2の内部構造については後述する。コネクタ3とこのWDMカプラとの間には、BS5が設けられており、BST2からのポンプ光を正常に入射されているか否かを判断するために、増設用励起光源ユニットBST2からのポンプ光を分岐する経路が作られている。このBS5で分岐されたポンプ光は、アッテネータATT1でパワーレベルが調整された後、PD5で受

光される。PD5では、コネクタ3からポンプ光が正常に受信されているか否かの結果を得、これを不図示の配線によって、BST2に通知する。BST2では、この結果を得て、もし、BST2の励起光源が発光しているのに、PD5でポンプ光が受光されていないと判断された場合には、コネクタ3が外れており、励起光源のポンプ光が漏れていて、周囲に人がいると危険であると判断し、BST2の励起光源をオフにする。

【0089】BST2からは、前方励起の方法でEDF2-2にポンプ光を供給する。一方、EDF2-2では光信号を大出力の光信号に増幅するために、後方励起の方法も併用される。すなわち、発振波長1460nmのLD5、LD6が設けられている。これらは内蔵の励起光源であり、AGCモジュールからの制御によりEDF2-2のゲインを調整するものである。この他に、大出力の光信号を得る為に、コネクタ4に増設用励起光源ユニットであるBST1が取り付けられる。BST1の内部構造については、BST2の説明と一緒に後述する。このコネクタ4の着脱を監視するために、前述したのと同様に、BS6が設けられ、BST1からのポンプ光を分岐して、アッテネータATT2を介してPD6で受光される。この受光の結果は、同様に、不図示の配線を通じてBST1に通知され、励起光源が発光しているにもかかわらず、コネクタ4が外れていると判断された場合には、BST1の励起光源をオフにする制御を行う様にする。

【0090】もちろん、LD5、6及びBST1、2のポンプLDの数は一例であって、必要なパワーが少ないLD数で満足できれば減らすことができる。EDF2-2では、光信号を大出力の信号とするために、ポンプ光のエネルギーを光信号のエネルギーに変換する場合の変換効率の良い1480nm帯域が使用されている。ここで、EDFモジュール2は、中断EDF2-1と後段EDF2-2からなっており、トータルのゲインを平坦化するためには、EDFモジュール2の出力側にGEQ2を設けるのが常識的に考えられるが、ここでは、EDF2-1とEDF2-2の間に設けている。これは、フィルタから構成されるゲインイコライザーは非常に損失が大きく、例えば、30%という値を持っている。もし、EDF2-2の出力側にゲインイコライザーを設けたとすると、図23に示されるように、光信号はEDF2-2によって、大出力（例えば、光インラインアンプへの入力を1mWとすると300mWぐらいの出力）となっているので、この大出力の30%を損失として被ると、絶対値でも大きな損失（例えば、90mW）を受け、ポンプ光源LD1個分のエネルギーを無駄にしてしまう。

【0091】そこで、光信号がまだそれほど大出力になっていない段階でゲインイコライザーを挿入すると、例えば、100mWのときは10mWの損失が生ずるのに対して、10mWの場合には1mWの損失で済む。この

ような理由で、ゲインイコライザーをEDF2-1とEDF2-2の真ん中に設けている。また、先のGEQ1についても、光インラインアンプ全体で2つのゲインイコライザーを2個所に設けているというのは、DCFの手前で各波長の出力をそろえて、許容される上限値のパワーでDCFへ入力するという点を考慮している。

【0092】また、EDF1側とEDF2側でそれぞれゲインを等化していることにより、EDF1側とEDF2側とを別々に製造し、後に組み合わせるという製造方法をとることが容易になる。すなわち、EDF1側の出力がゲインイコライザーによって平坦化され、各波長の主光信号は、波長毎に均一な特性を持っている。また、EDF2側でも、この均一な特性の光信号を受けて増幅し、そして更に均一化して出力するというように処理が進むので、均一な光信号を受け渡してできるため、EDF1とEDF2間のインタフェースを容易に行うことが出来るということである。このように、ゲインイコライザーを2個所に配置することによって、製造上の利点をも得ることができる。また、波長多重用光増幅器は、その構成が複雑化している。このため、モジュール化した光増幅部（Front Amplifier PartとRear Amplifier Part）及びDCMを光コネクタにより着脱可能に構成することで、部分的に保守・点検・部品交換を行なうことができ、運用上のコスト削減への効果が大きい。

【0093】EDF2-2から出力された光信号は、後方励起のためのポンプ光を合波するためのWDMカブラを通過し、次にアイソレータISO5を通過する。ISO5は、光インラインアンプの出力端からの反射戻り光を遮断し、EDF2-2が戻り光によって発振しないようにするために設けられている。また、ISO5を通過した光信号は、WDMカブラを通過する。このWDMカブラは、波長の異なる光信号を合波するのではなく、主信号のみを通過させて、EDF2-2やEDF2-1あるいは、EDF1のEDFのポンプ光が光インラインアンプの外部に出力されないようにするものである。すなわち、主光信号の進行方向と逆方向に進行する光はアイソレータによって遮断することが出来るが、光主信号と同方向に進行する光はアイソレータでは遮断することができない。そこで、WDMカブラを主信号のみを透過するフィルタとして使用することによって、光インラインアンプの外に出力されないようにするものである。

【0094】このWDMカブラを通った光信号は、ビームスプリッタBS7で分岐され、一方は、光スペクトルアナライザ（光SPA）用の出力端子へと導かれる。光SPAは、必要時にこの端子へ取り付け、波長多重されている各波長（チャンネル）の光信号のパワーレベルが揃っているか否かを検査するものである。現状では、光SPAは1台で、図19、20に示されている光インラインアンプと同程度の大きさとなるので、光SPAを組み込むと光インラインアンプが必要以上に大きくなってし

まう。従って、波長多重されている各波長の光信号のパワーが揃っているか否かは必要時に、例えば、波長多重数を増やしたときなどのアップグレード時に光SPAを接続して検査及び調整を行う様にする。

【0095】BS7で分岐された光主信号は、更に、BS8に入力されて、直進する光主信号とOUT PD7への信号に分岐される。同じくBS8に接続されているjunction PD8は、光インラインアンプの出力端（光コネクタ5）からの反射光を監視するものであり、反射光の強度が高まった場合に出力端のコネクタ5が外れているとして不図示の配線によりLD4、LD5、LD6、及びBST1、2の励起光源に制御信号を与え、出力を低下させて、EDF2の利得を低下させる。光インラインアンプの出力端から出力される光信号のパワーが10mW程度より小さくなるようにEDF2の利得を制御する。

【0096】BS8で分岐された光信号の内、OUT PD7で受信された光信号はその強度が電気信号に変換され、AGCモジュールにフィードバックされ、PD4からの光信号と合わせてAGCを行うと共に、ALCモジュールにフィードバックされ、可変ATTの減衰量を制御することにより、ALCを行う。このALCにより、光インラインアンプの出力パワーが一定に保たれる。このように、ALCにはPD3からのフィードバックとOUT PD7からのフィードバックとが2重にかけられていることになる。

【0097】OUT PD7からAGCモジュールへのフィードバックは、PD4からのフィードバックと合わせて、ゲインの検出が行われ、LD4、LD5、LD6、及び、後に説明するBST1、BST2の励起光源への制御が行われる。

【0098】BS8から分岐されずに出力された光主信号（増幅された波長多重光）は、後に続くWDMカプラによって、別途処理されたSV信号と合波され、光インラインアンプの出力端から出力される。

【0099】コネクタ3及びコネクタ4には、それぞれ励起光源ユニットであるBST2、BST1がそれぞれ接続できるようになっている。BST1、BST2は、内蔵のレーザダイオードLDではポンプ光のパワーが足りない場合に、別途接続して使用するものである。例えば、波長多重数（チャンネル数）が1から8までの間である場合には、内蔵のLDで十分なパワーのポンプ光が得られる。また、波長多重数（チャンネル数）が9～16の場合には、BST1を接続して使用する。波長多重数が17～32の場合には、BST1とBST2を共に接続して使用する。

【0100】BST1に含まれる励起光源は、偏波の異なる発振波長1480nmで出力140mWのLD7とLD8が用いられる。LD7とLD8から出力される互いに異なる偏波のポンプ光は、偏光ビームスプリッタの

PBSで偏波合成され、ピグテールファイバコードを介してBST1外部に出力される。偏波合成することによって、異なる偏波でそれぞれ出力されるLDのポンプ光のパワーがほぼ1+1=2の関係になるので、LDを複数設けたことによる利点を有効に利用することができる。

【0101】また、BST1のLD7、8の発振波長は内蔵のLD5、6の発振波長と異なっており、WDM PBSモジュールのWDMカプラで波長合波（多重）されている。これも同様であり、同じ波長のポンプ光を合波しようとする互いの位相の差異により、合波されたポンプ光の出力が必ずしも双方のパワーを合計したものとはならない。しかし、もともと異なる波長のポンプ光をWDMカプラで合波すれば、理想的には、1+1=2の関係が成り立ち、LDからのすべての光パワーを合計したものに近いパワーのポンプ光を得ることができる。

【0102】ここで、LD5、6とLD7、8の発振波長が異なっているが、EDFは、前述したように、1480nm帯域に広い吸収帯域を持っており、1460nmのポンプ光も1480nmのポンプ光も同じ帯域に吸収され、ポンプ光として使用することが出来る。このように、WDMカプラで波長の異なるポンプ光を合波して、大出力のポンプ光を得ると共に、同じEDFの動作帯域で光信号の増幅作用を得ることが出来る。この様子を図示したのが図24である。

【0103】LD7とLD8の出力光がPBSで合波されると、次にビームスプリッタ9によって分岐され、アッテネータATT3を介してPD7により受信される。このPD7では、BST1のLD7、8の出力レベルが正常であるか否かをモニタするものである。また、BST1のピグテールファイバコードのコネクタ4が外れているかどうか判断するために、LD7、8の出力を合波したポンプ光のパワーレベルが10mW程度より小さくなっているか否かの監視も行うものである。コネクタ4が外れたとPD6での受光の結果判断された場合には、AGCモジュールからそれぞれのLDに出力を弱めるように指示が出されるため、EDF Md1については、励起光源LD1～LD3のAPCのレベルは低い値に設定される。

【0104】BST1では、同じ発振波長（1480nm）の励起光源LD7、8をPBSにより偏波合成し、励起光を供給している。且つ構成を簡単化するために、単に、LD7、8をON/OFFさせるだけで、AGCやALCは行なっていない。1480nmの発振波長を有する半導体レーザは、出力パワーが小さい時は、短波長側に発振波長がシフトする。例えば、発振波長が1460nm近傍にシフトした場合は、WDMカプラによって、発振波長1460nmのLD5、6と波長合波でなくなる。即ち、前述したように、このWDMカプラは、増設用励起光源ユニットBST1から入射された1

480nmの励起光をEDF2-2に入力するように設計されているため、BST1からの波長1460nmの励起光をEDF2-2に効率的に入力することができなくなってしまう。そこで、LD7, 8は、必ず最大パワーの励起光を出力するようにして、発振波長を1480nmに安定化させる。例えば、チャンネル数が9~12の間は、LD7のみを最大パワーで動作させ、チャンネル数が13~16の間では、LD7とLD8とを最大パワーで動作させるように制御すれば良い。励起パワーの調整は、AGCモジュールにより、内蔵されたLD5, 6の出力パワーを制御することにより実現できる。

【0105】BST2は、発振波長1460nmで出力140mWのLD9, 10と発振波長1480nmで出力140mWのLD11, 12を含んでいる。LD9とLD10、及びLD11とLD12は、それぞれ互いに偏波が異なっており、PBSによって偏波合成される。更に、LD9とLD10の出力を偏波合成したものと、LD11とLD12を偏波合成したものとをWDMカップラで合波し出力する。BST2においても、合波されたポンプ光は、BS10で分岐され、アッテネータATT4を介して、PD10で受光される。そして、PD10での受光結果から、各LDが正常に動作しているか否かが判断される。BS10で分岐されなかったほとんどのポンプ光は、コネクタ3を介して、EDF2-2に送られる。ここでも、PD5によって、コネクタ3が正常に接続されているか否かが判断され、コネクタ3が外れていると判断された場合には、LD9からLD12を制御して、BST2から出力されるポンプ光が作業者の目に入っても危険でない程度のパワーにまで出力が落とされる。このとき、BST2の出力パワーを検出するのはPD10である。

【0106】なお、BST2に関しては、波長多重後の総励起パワーをPD10でモニタしているため、先のBST1の問題は無く、LD9~LD12を常に同時に駆動して、PD10への入力レベルを4段階にして良い。

【0107】BST1あるいはBST1とBST2が接続されている場合には、AGCモジュールからゲインを一定にするための制御が施されるが、BST1及びBST2のLDへの制御はLDをオンするかオフするかのみを行い、微妙な調整は、内蔵のLD4, 5, 6の出力を調整することによって行う。

【0108】また、BST1やBST2は、複数を1つのシェルフ等に入れて、光インラインアンプに接続する形態が考えられるので、電気的な結線とポンプ光の結線とが異なる光インラインアンプとして構成される可能性が大きい。このような場合、最初、ブースタBSTは、10mWより出力の小さい、作業者の目に入っても問題のない程度のポンプ光を出力している。これが光インラインアンプに接続されると、PD5やPD6によって検出され、コネクタ3や4が接続されたことが認識され

る。そして、AGCモジュールから更にポンプ光の出力レベルを上げる指示が出される。ポンプ光の接続と電気配線の接続が同じBSTから同じ光インラインアンプになされている場合には、この段階でポンプ光の出力レベルを最大にしても問題はないが、間違っていて結線されている場合には、光インラインアンプにポンプ光が入力されていないBSTにポンプ光の出力を上げる指示が出てしまうことになる。電気的結線によって指示を受けたBSTのポンプ光が同じ光インラインアンプに接続されていない場合には、他の光インラインアンプにポンプ光が入力されてしまうことになり、動作がおかしくなってしまう。また、ピグテールファイバコードがどこにも接続されていない場合には、強度の大きいポンプ光が外部に漏れてしまうことになり、作業者の目等に入ったら危険である。

【0109】そこで、光インラインアンプがBSTの接続を検出したら、次に、外部に漏れても危険でないパワー（例えば、10mW以下の安全光状態）で少しだけポンプ光のパワーを大きくする様にする。光インラインアンプ側では、このポンプ光のパワーを上げる指示に対し、実際にポンプ光のパワーが僅かにあがったら、ピグテールファイバコードの接続と電気的結線が正常になされていると判断して、BSTにポンプ光のパワーを最大にするようにBSTに指示を出すようにする。

【0110】このように、BSTの接続の際に、作業者に危険でないパワー（安全光状態）の範囲内で、ポンプ光のパワーを2段階にすることによって、光インラインアンプ側で結線が正常になされていることを確認してから、ポンプ光のパワーを最大にするという手順を経ることによって、パワーの非常に大きい、危険なポンプ光が外部に漏れてしまう、あるいは、誤った光インラインアンプに入力されたまま気づかれないままになるという事態を避けることが出来る。

【0111】図19, 20の光インラインアンプでは、光信号の出力はPDを使って、全体のパワーをモニタする構成となっている。したがって、波長多重数を増やしたときに次のような問題が生じる。すなわち、光伝送路を伝播させる光信号の各波長のパワーレベルには上限と下限があるが、初期設置段階で4波多重で伝送していたとする。この場合には、異なる4つの波長の各光信号のパワーは伝送路の上限と下限の間に収まるように伝送される。ここで、波長多重数を、例えば、8波にアップグレードしたとすると、光インラインアンプでは、波長多重された光信号の全体のパワーを見ているので、8波に増えたことによる波長多重光信号の全体のパワーの増加に伴って、ALCにより各波長の光信号のパワーを低く抑えてしまう。これにより、各波長の光信号のパワーは伝送路の下限値以下になってしまうことが起こる。これでは伝送システムのパフォーマンスを維持することが出来ない。そこで、波長多重数を増やすときには、SV信

号を使用して、各光インラインアンプに波長多重数が増えることを通知してやる。これを受けた光インラインアンプは、波長多重数が増える時A L Cを停止する。そして、光インラインアンプは、A G Cアンプとして動作するので、波長多重数が増えてもゲイン一定で光信号を増幅する。そして、次に、A L Cを再起動して、光信号のパワーレベルを所定値に設定し直す。新しい波長多重数の場合の光信号の全体の設定されるべきパワーレベルは、S V信号を介してA L Cモジュールに設定されるものとする。このようにすることによって、何ら新しい構成を設けることなく、波長多重数の増加に対応することができる。

【0112】また、波長多重数の増加に伴って、ポンプ光のパワーを増加する必要があるが、本光インラインアンプでは、最初、ノイズ特性（雑音指数；N F）の良い980nm帯域での増幅を行っており、更に、高パワーのポンプ光が必要になった場合には、高効率の1480nm帯域を使用して増幅を行うようにする。この様子を示したのが、図25である。図25においては、E D Fの入力口から出力口に向かって横軸に距離をとっており、縦軸に増幅される光信号のパワーを示している。同図に示されるように、同図上に記載されているのは、980nm帯の励起光の様子と1480nm帯の励起光の様子である。980nm帯の励起光は前方励起であるために、E D Fの入力口から入射され後方に行くに従って消費されていく。また、1480nm帯の励起光は後方励起であるために、E D Fの出力口から入力口に向かって入射され、前方に行くに従ってポンプ光が消費されていく。一方、光信号は入力口から出力口へ向かって伝播するので、出力口に向かうに従ってパワーが次第に増幅されていく。このように、980nm帯域で十分増幅してから、更に足りない分を1480nm帯域で増幅するようにすることにより、ノイズ特性の良い光信号の増幅が可能になる。

【0113】図19、20にて説明した光インラインアンプの構成は、光ポストアンプ、光プリアンプにも同様に適用される。ただし、光ポストアンプの場合は、S V信号を入力側で波長多重光信号から分波するW D M1、2を備えておらず、光プリアンプの場合は、S V信号を出力側で波長多重光信号と合波するW D M3を備えていない。

【0114】次に、図19、20にて説明した波長多重用光増幅器、特に、光インラインアンプL W A W1の制御回路について図26を参照して説明する。光信号モニタ回路120には、次のモニタ信号が入力される。

- 1) P D1で検出された前段光増幅部への光入力レベル
- 2) P D2で検出された前段光増幅部からの光出力レベル
- 3) P D3で検出された可変光減衰器モジュールV A T Tの光出力レベル（D C Mへの光入力レベル）

- 4) P D4で検出された後段光増幅部への光入力レベル（D C Mからの光出力レベル）
 - 5) P D8で検出された光コネクタからの反射光レベル
 - 6) O U T P D7で検出された後段光増幅部からの光出力レベル
 - 7) P D6、P D10で検出された増設用励起光源ユニットB S T1、B S T2からの励起光検出信号
- 光信号モニタ回路120はこれらのモニタ結果をA G C/A P Cモジュールを構成する制御回路132に入力して励起光源モジュール121の各L D1～3のバイアス電圧をバイアス電圧制御回路122により制御し、L D1～3の出力パワーを制御する。また、温度制御回路123は、各L D1～3の温度が一定となるように制御する。光信号モニタ回路120で検出した前段増幅部とV A T Tのモニタ信号は、アナログ/ディジタル変換回路124を介して、C P U131に入力される。また、バイアス電圧制御回路122からはバイアス電圧値が、外気温度センサ124からは、外気温度情報がA/D変換器回路124に入力される。後段光増幅部のA G Cモジュールについても、同様に動作する。

【0115】C P U131は、I/O p o r tから入力される各種モニタ情報を処理し、動作状態、アラーム信号、モニタ情報等を監視制御信号として、光サービスチャネルインターフェースO S C I W1に出力する。また、C P U131は、O S C I W1より受信した監視制御情報を解析し、励起光源モジュール121、133をO N/O F Fするためにバイアス制御回路122、127や温度制御回路123、128の起動信号を出力する。

【0116】次に、光インラインアンプL W A W1を制御するC P U131の動作について、図27、28の状態遷移図を基に説明する。C P U131は、32チャンネルの波長多重光信号の増幅に対応可能なW D M光増幅器の状態制御、各種モニタ・監視及び外部との通信（具体的には、O S Cを介した監視制御情報の通信）を行う。図1の波長多重伝送システムでは、複数の波長（チャンネル）に異なる情報（O C-192、O C-48等）を載せて、これらを波長多重して、一本の単一モード光ファイバを用いて伝送する方式であり、伝送容量を飛躍的に増大できる。このシステムに適用する光増幅器には各波長を等しい利得で増幅する機能が要求される。また、通信需要の増大に応じて、波長数（チャンネル数）の増設・撤去（例えば、各チャンネルの伝送容量を2.4 G b p sから10 G b p sにアップグレードする際に撤去が必要になる。）をリモートで実施できる機能、さらに、運用中にチャンネル数の増設・撤去を可能とする機能（インサービスアップグレードビリティ）も必要とされる。これらに適用可能なC P U131の動作状態・遷移について、図27及び28を参照しつつ説明する。

- 50 A. 電源断状態：光増幅器ユニットの電源が断の状態

B. 入力断状態：光増幅器の入力が入力回復しきい値以下であり、前段増幅部及び後段増幅部の励起光源LD1～3、LD4～6に通電されていない状態。

C. 前段安全光状態：前段増幅部のEDFモジュール1の利得は設定値（AGC設定電圧）に達しているが、出力は、安全光レベルになっている。DCMが未接続あるいは光コネクタ1、2の接続不良で後段増幅部の入力レベルが入力回復しきい値未満で後段増幅部の励起光源LD4～6は停止している状態。BST1、BST2も停止している。

D. 安全光状態：光増幅器の出力側コネクタ5が開放状態であり、光出力パワーは人体に対して安全なレベルに制御されている。Laser Safety機能がONの場合はこの状態であるが、初期設定時にLaser Safety Inhibitを受信すると状態遷移は図28のように安全光状態を持たない。安全光OFF（Laser Safety Inhibit）の状態遷移図は、安全光状態からALC状態への遷移の際に、安全光ON（Laser Safety ON）の状態遷移図の中で出力コネクタ5の接続／開放の検出をせずに正常光状態へ遷移することに相当する。BST1、2は停止している。安全光ON/OFFは安全光状態及び正常光状態でも受け付けて光増幅器の動作に反映させる。

E1. ALC状態：実際に通信が可能な状態（正常光状態）であり、波長数情報と光増幅器番号に基づいた中断可変光減衰器による（総）出力一定制御が行なわれている状態。

E2. AGC状態：可変光減衰器ATTの減衰量が固定されて、AGC/APCモジュール及びAGCモジュールがそれぞれ前段EDFモジュール1及び後段EDFモジュール2を利得一定動作するように制御している状態。可変光減衰器ATTの動作がALC状態では、出力端での波長多重光信号の総出力を一定になるように制御していたのに対し、この状態では、平均値に固定される（フリーズ状態と呼ぶ）。AGC制御速度より遅く波長数（チャンネル数）増設・撤去を行えば、利得一定動作なので、存続するチャンネル（サービスを継続するチャンネル）の出力には影響を与えない。正常光状態の一つである。

【0117】また、増設用励起光源モジュールBST1及びBST2は、このAGC状態において増設・撤去される。増設時の動作は、図19、図20にて説明した通りである。それぞれの状態及び状態遷移について、さらに詳細に説明する。

（1）電源断状態→入力断状態への遷移：光増幅器ユニットに給電され、各電子部品のリセット、OSCからのProvisioning（運用情報）、Conditioning（条件設定）を受信して、初期化設定を行なう。また、励起光源LDの温度制御は、一定値になる

までに時間を要するので、この段階で開始する。

（2）入力断状態：光増幅器への入力パワー（PD1の出力）がハードウェアで設定している入力回復しきい値以下であり、光信号モニタ回路120よりCPU131に対して、入力断信号が出力されている状態。または、前段光増幅部及び後段光増幅部の励起光源LD1～3、LD4～6にバイアス電流が供給されていない状態。

【0118】CPU131は、入力断信号を検出すると、アラーム信号LOL（Loss of Light）をOSCIW1に出力する。なお、入力回復のしきい値は、チャンネル数に依存する。CPU131は、入力断状態でチャンネル数を読み込んだ結果、チャンネル数が0であったら、入力断状態を保持する。

【0119】（3）入力断状態→前段安全光状態への遷移：

①PD1からの光入力が入力回復値以上であることを検出。

②前段増幅部の励起光源LD1～3にバイアス電流の供給が開始される。前段EDF1の利得は、ゆるやかに設定値までに達するように、AGC/APCモジュールの時定数が設定されている。

【0120】③ALCモジュールは、可変減衰器ATTの減衰量をゆるやかに低下させて、可変減衰器ATTの波長多重光出力がゆるやかに安全光レベルとなる様に制御する。可変減衰器ATTの出力レベルの設定（減衰量）が人体に安全なレベル（安全光）に設定されているために、DCMが未接続でも人体に危険なレベルの光を空間に放射しない様に配慮されている。この遷移では、後段増幅部の励起光源LD4～6にはバイアス電流を通電しない。

【0121】（4）前段安全光状態：前段EDF1の利得は、設定値（AGC設定電圧）に達しているが、出力レベルは、ALCモジュールにより、安全光レベルに制御されている。DCMが未接続あるいは接続不良で後段EDF2への入力レベルが入力回復しきい値未満で、後段EDF2の励起光源LD4～6の動作は停止している状態。

【0122】（5）前段安全光状態→安全光状態への遷移：

①PD4で検出した後段増幅部への入力レベルが入力回復しきい値以上になったことを検出。

【0123】②DCFの損失を補償するように、ALCモジュールにより可変減衰器ATTの減衰量を調整。具体的には、後段部への入力レベルの参照値（dBm/ch、例えば、-12dBm/ch）と後段部への光モニタ値が等しくなる様に減衰量を調整する。波長数が4波なら-6dBm（=-12+6）。

【0124】③AGCモジュールにより、後段EDF2の励起光源LD4～6へのバイアス電流供給を開始。A

GCモジュールは、後段EDF2の利得をゆるやかに増加。後段EDF2の出力レベルは、安全光レベルに保持されるように、安全光設定電圧が設定されている。AGCモジュールは安全光設定電圧とAGC設定電圧という2つのリファレンス値を持ち、アナログの最大値回路を通して励起LDを駆動する。

【0125】(6)安全光状態→ALC状態への遷移：
①OUT PD7で検出した出力光パワーとPD8で検出した反射光パワーの比が設定値を超えた場合（反射光パワーが低下した場合）に、出力側の光コネクタ5の接続を検出。

【0126】②AGC設定電圧を所定値までゆるやかに増加させる。

③安全光設定電圧を解除。

(7)ALC状態→AGCへの遷移：

①AGCモードへの切り換え信号を光サービスチャネルより受信。

【0127】②切り換え信号受信時点の可変減衰器ATTの減衰量をALCモジュールにより固定。光増幅器としては、AGCモード（利得一定制御モード）で動作する。

【0128】③OSCより波長数（チャネル数）情報を受信。増設用励起光源モジュールBST1、BST2を増設・撤去の有無をチェック。OSCにより、BST1、BST2の接続を通知。

【0129】④波長数（チャネル数）の増設・撤去完了に基づいて、OSCより、AGCモードへの切り換え信号がOFFとなったことを検出。

⑤波長数（チャネル数）に応じたALC設定電圧に更新し、ALCモジュールより出力。また、波長数に応じた入力レベル及び出力レベルしきい値に更新し、ALCモジュールによりALC制御を開始。

【0130】(8)ALC状態→安全光状態への遷移：
①OUT PD7で検出した出力光パワーとPD8で検出した反射光パワーの比が設定値以下（反射光パワーが増加した場合）となった場合に、出力側の光コネクタ5の開放を検出。

【0131】②後段EDF2のAGCモジュールの安全光設定電圧をONにする。

③後段EDF2のAGCモジュールのAGC設定電圧を低下（OFFにする）。

【0132】(9)AGC状態→安全光状態：

①OUT PD7で検出した出力光パワーとPD8で検出した反射光パワーの比が設定値以下（反射光パワーが増加した場合）となった場合に、出力側の光コネクタ5の開放を検出。

【0133】②後段EDF2のAGCモジュールの安全光設定電圧をONにする。

③後段EDF2のAGCモジュールのAGC設定電圧を低下（OFFにする）。

【0134】(10)各状態→入力断状態（Shutdown）

①PD1からの入力レベルがしきい値以下となった場合に、入力断を検出。

【0135】②AGCモジュールのAGC設定電圧をゼロに設定。

③ALCモジュールの安全光設定電圧をゼロに設定。

④AGC/APCモジュールのAGC設定電圧をゼロに設定。

10 【0136】⑤ALCモジュールのALC設定電圧をゼロに設定。

さて、次に、図1の波長多重システムにおいて、光サービスチャネルOSCを用いて、チャネルを増設・撤去する場合のシーケンスを図29～39を用いて説明する。

【0137】図1の波長多重システムにおいて、チャネルの増設・撤去は、波長1510nmの光サービスチャネルOSCのDS1フレーム（図11）によりオンライン（インサービス状態）で制御される。チャネル増設・撤去のための制御信号は、DS1フレームのOSC-AISバイト（タイムスロット9）を用いて送信される。このOSC-AISバイトの内容を図29、30に示す。また、チャネル増設・撤去時において、各光増幅器（TWAA, LWAW1～3, RWAB）の動作シーケンスを図31～36に示す。また、動作フローチャートを図37、38、39に示す。

【0138】まず、チャネルの増設・撤去時、オペレータは、波長多重分離装置WMUXAのコンソールを用いて、チャネル1～32のビットレート（2.4Gbps又は10Gbps）及びチャネル1～32がインサービス（IS）状態かアウトオブサービス（OOS）状態かを示すProvisioning情報（運用情報）を入力し、増設・撤去するチャネルの運用情報を更新する。（図37のS1、図31）

これらの運用情報は、波長多重分離装置WMUXAのOSCインターフェースOSCIAに送信される。OSCIAは、各チャネルのビットレート情報（WCR）及びIS/OOS情報（WCS）をOSCのタイムスロット23のマルチフレームバイト中のWCRバイト及びWCSバイトを用いて、各光中継器1～3及び対局の波長多重分離装置WMUXBの各OSCIW1～3、OSCIW2へ送信するとともに、図29、30に示すように、OSC-AISバイトのコマンドcを用いて、WCR及びWCSバイトの変更の通知する。

【0139】次に、オペレータは、コンソールにより、各光増幅器（TWAA, LWAW1～3, RWAB）をALCモードからAGCモードに移行するためのコマンドを入力する。このコマンドは、OSCIAに送信されるとともに、TWAAのCPUに送信される。光ポストアンプTWAAは、ALCモードからAGCモードに移行する。OSCIAは、図29、30に示すようにOS

CのDS1フレームのOSC-AISバイトのビットb2～b5を所定パターンに設定して各光増幅器(LWA W1～3, RWAB)の光サービスチャネルインターフェースOSCIW1～3及びOSCI Bに送信する。

(図32, 図37～39のS2)

光サービスチャネルインターフェースOSCIW1～3及びOSCI Bは、OSC-AISバイトのb2～b5の内容を各光増幅器のCPUに通知する。CPUは、ALCモードからAGCモードへの移行コマンドを検出した場合、ALCモードからAGCモードへ移行を制御する。各光中継器1～3及び波長多重分離装置WMUXBにおいて、光インラインアンプLWAW1～3、光プリアンプRWABのAGCモードへの移行が完了すると、OSCのタイムスロット5～6のDCCバイトを用いて、WMUXAに通知する。(図33, 図37～39のS3)

MCAユニットは、チャネル数の増設・撤去の際に、各光増幅器の増設用励起光源BST1及びBST2の増設・撤去が必要かどうかを判断する。必要な場合は、OSC-AISバイトのコマンドdを用いて、各光中継器1～3及び波長多重分離装置WMUXBにBST1, 2が接続有無の確認を指示する。また、自装置(WMUXA)の光ポストアンプTWAAの増設用励起光源BST1, 2接続状態の確認を光ポストアンプTWAAのCPUに指示する。例えば、チャネル数が1～8の場合は、内蔵励起光源LD1～6による励起光パワーのみを利用し、チャネル数9～16の場合は、内蔵励起光源LD1～6に加え、増設用励起光源BST1を動作させて、励起光パワーを増加させることが必要であり、さらに、チャネル数が17～32の場合には、BST1とBST2の両方を動作させることが必要である。各光中継器1～3の光インラインアンプLWAW1～3のBST1及び2の接続確認情報は、OSCのDCCバイトを用いて送信され、波長多重分離装置WMUXAの管理装置MCAにて確認される。(図37～39のS4)

次に、実際に、チャネルの増設・撤去を実施する。(図34, 図37～39のS5)

次に、波長多重分離装置WMUXA, WMUXBのSAUA及びSAUBのCPUは、新たなチャネル情報に基づいて、設定値を更新する。そして、増設・撤去するチャネルに対応する光可変減衰器VATA1～32及びVATB1～32の減衰量を最大にして、SAUAにより、このチャネルが入力断状態となっていることを確認する。確認後、波長分離装置WMUXA, WMUXBの光可変減衰器VATA1～32及びVATB1～32の減衰量は、スペクトラムアナライザSAUA, SAUBのCPU及び光可変減衰器ユニットVATA, VATBのCPUにより調整され、最適値に設定される。(図37～39のS6～S9)

MCAは、各光中継器1～3及び波長多重分離装置Bに

対して、波長(チャネル)情報の更新を指示するコマンドを送信する。このコマンドは、OSCI Aにより、OSC-AISバイトのコマンドgとしてOSCで送信される。各波長多重分離装置WMUXAを含め、光中継器1～3及び波長多重分離装置WMUXBは、WCR, WCSバイトの情報を用いて、チャネル情報を更新する。

図26～図28において説明した、光増幅器のCPUが用いる各種しきい値及び設定値も、更新されたチャネル情報に基づいて変更される。(図37～39のS11)

10 各光中継器1～3及び波長多重分離装置WMUXBは、ALCモードへの移行準備確認をOSCのDCCバイトを用いて、MCAに通知する。(図37～39のS12)

次に、管理装置MCAから、AGCモードからALCモードへの移行を全光増幅器に指示する。AGCモードからALCモードへの通知は、OSCのOSC-AISバイトのコマンドhを用いて行なう。各光増幅器のCPUは、OSCから、このコマンドhを受信すると、AGCモードからALCモードへ移行するように制御する。ALCモードへの移行が完了すると、各光中継器1～3及び波長多重分離装置WMUXBは、OSCのDCCを用いて、MSCAに対して、ALCモードへの復帰完了、即ち、各光増幅器が正常光状態で動作していることを通知する。(図35, 図37～39のS13)

なお、各光中継器1～3において、光サービスチャネルOSCの障害(監視制御光信号断(Loss Of Light), 監視制御チャネル未実装(Loss Of Facility), パリティチェックビットによる受信エラー検出)を検出すると、OSC-AISバイトのb1ビットにフラグを立て、下流側に通知する。

【0140】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、波長多重光通信システムに要求されるさまざまな課題を解決した光増幅器を提供することが可能となる。

【0141】また、この光増幅器は、前段光増幅部と後段光増幅部とにモジュール化されており、これらモジュール毎に光部品を共通化して製造しても、光コネクタ等の光結合手段を介して接続することにより、光増幅器の完成体を組み立てることができる。また、各モジュールに分割して保守・点検を実施することができ、障害箇所の探索が容易になる。

【0142】以上の説明では、波長多重された光信号を例に説明したが、本発明の光増幅器は、単一波長の光信号にも適用できることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【図1】波長多重伝送システムのシステム構成を示す図である。

【図2】SONETのSTS-1フレームフォーマットを示す図である。

【図3】STS-1フレームフォーマットのセクションオーバーヘッド(SOH)及びラインオーバーヘッド(LOH)を説明するための図である。

【図4】STS-1フレームのオーバーヘッド部のバイト割り当てを説明するための図である。

【図5】STS-1フレームをnフレームバイト多重して得られるSTS-nフレームを説明するための図である。

【図6】OC-192(STS-192)のフレームフォーマットを示す図である。

【図7】図1の波長多重システムの各波長の光信号の波長配置(チャネル配置)を説明するための図である。

【図8】波長多重分離装置WMUXA, WMUXBの基本構成を示す図である。

【図9】光インラインアンプLWAW1~3の基本構成を示す図である。

【図10】既存伝送装置の光信号波長を図6のチャネル配置に従って波長変換するためのトランスポンダの基本構成を示す図である。

【図11】光サービスチャネルのフレームフォーマットを示す図である。

【図12】光サービスチャネルOSCの各タイムスロットに挿入されるバイト情報の内容を説明するための図である。

【図13】光サービスチャネルOSCのタイオスロット23のマルチフレームバイトの1マルチフレームの構成を説明するための図である。

【図14】波長多重分離装置の光サービスチャネルインターフェースOSCI Aの信号受信部の基本構成を示す図である。

【図15】波長多重分離装置の光サービスチャネルインターフェースOSCI Aの信号送信部の基本構成を示す図である。

【図16】光中継器の光サービスチャネルインターフェースOSCIの基本構成を示す図である。

【図17】図14~図16のRWAA, TWAA及びLWAW1に設けられるOSCインタフェースOSCI B, OSCIA, OSCIW1とオーバーヘッドシリアルインタフェースOHSとのインタフェースを説明する図である。

【図18】図1の波長多重伝送システムにおける光信号パワーとノイズとの関係を説明するための図である。

【図19】光増幅器の具体的構成を示す図(その1)である。

【図20】光増幅器の具体的構成を示す図(その2)である。

【図21】光増幅器の動作を説明するための図(その1)である。

【図22】光増幅器の動作を説明するための図(その2)である。

【図23】光増幅器の動作を説明するための図(その3)である。

【図24】光増幅器の動作を説明するための図(その4)である。

【図25】光増幅器の動作を説明するための図(その5)である。

【図26】図19と図20の光増幅器の制御部の構成を説明するための図である。

【図27】光増幅器の制御部の動作を説明するための図(その1)である。

【図28】光増幅器の制御部の動作を説明するための図(その2)である。

【図29】チャネル数の増設・撤去時に用いられるOSCの監視制御情報の詳細を説明するための図(その1)である。

【図30】チャネル数の増設・撤去時に用いられるOSCの監視制御情報の詳細を説明するための図(その2)である。

【図31】チャネル数の増設・撤去時の各光増幅装置の動作シーケンスを説明するための図(その1)である。

【図32】チャネル数の増設・撤去時の各光増幅装置の動作シーケンスを説明するための図(その2)である。

【図33】チャネル数の増設・撤去時の各光増幅装置の動作シーケンスを説明するための図(その3)である。

【図34】チャネル数の増設・撤去時の各光増幅装置の動作シーケンスを説明するための図(その4)である。

【図35】チャネル数の増設・撤去時の各光増幅装置の動作シーケンスを説明するための図(その5)である。

【図36】チャネル数の増設・撤去時の各光増幅装置の動作シーケンスを説明するための図(その6)である。

【図37】チャネル数の増設・撤去時の各光増幅装置の動作シーケンスを説明するための図(その7)である。

【図38】チャネル数の増設・撤去時の各光増幅装置の動作シーケンスを説明するための図(その8)である。

【図39】チャネル数の増設・撤去時の各光増幅装置の動作シーケンスを説明するための図(その9)である。

【符号の説明】

10 オーバヘッド

11 SOH

12 LOH

13 ポインタバイト

20 ペイロード

2-1 可変光減衰器

2-2 モニタ

2-3, 4-1, 5-1, 6-1, 31-5 CPU

2-4, 4-3 OSCIA

2-5 カプラ

3-1 マルチプレクサ

50 4-2 電気/光変換器

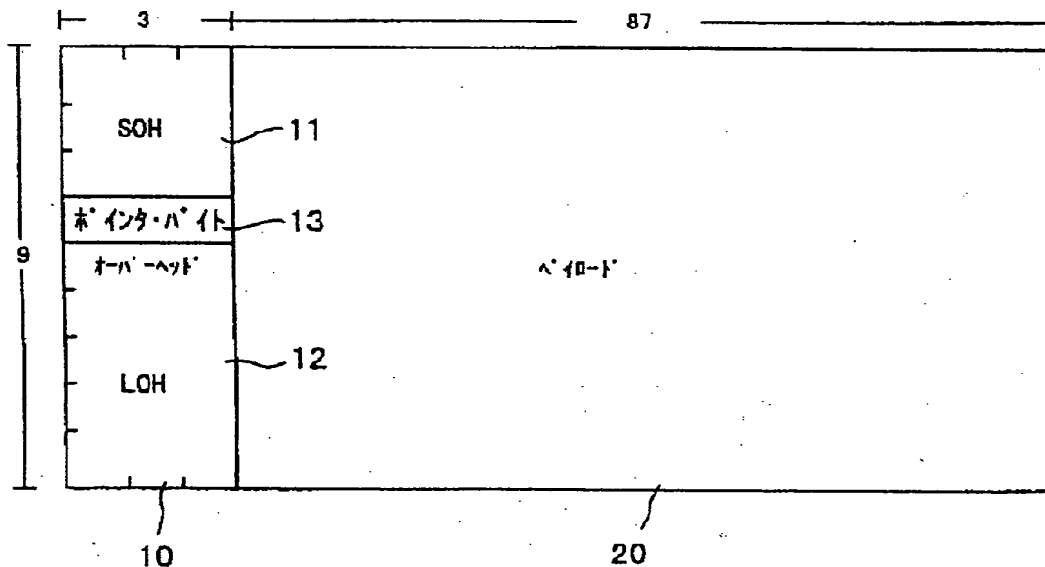
45

4-4、4-5、6-4、6-5 光増幅部
 4-6、4-7、6-6 カプラ
 5-2 スペクトルアナライザ
 6-2 光/電気変換部
 6-3 OSCIB
 7-1 デマルチプレクサ
 8-1、32-1、33-3、42-1、43-3
 光電変換部
 8-2、9-3、32-2、42-2 HUB
 8-3、32-3、41-3、42-3 OHS 10
 8-4、32-4、42-4 モニタ
 8-5、32-5、42-5 アラーム発生部
 9-1、33-1、43-1 PCI
 31-1 プレアンプ
 31-2 ポストアンプ
 31-3、41-1 光/電気変換部
 31-4、41-2 電気/光変換部
 31-6 OSCIW1
 52、92 CMIデコーダ
 53、94 フレーム同期部
 54、78、93、106 PG

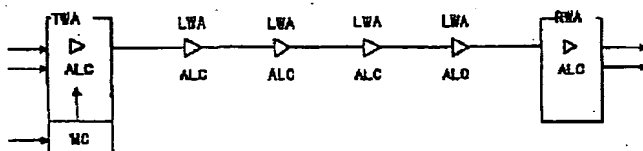
46

55、95 保護部
 56、75、96、103 BIP演算部
 57、98 比較部
 58、97 デマルチプレクサ
 59、99 保持部
 60、100 三段保護部
 61、102 セレクタ
 71 チェック処理部
 72、104 マルチプレクサ
 73 provision
 74 コンディション監視部
 76 マルチプレクサ
 77、107 デジタルPLL
 79、105 フレーム生成部
 80、108 CMIコーディング部
 120 光信号モニタ回路
 121、126 励起LDモジュール
 122、127 バイアス制御回路
 123、128 温度制御回路
 20 124、129 外部温度センサ
 125、130 AD/DAコンバータ

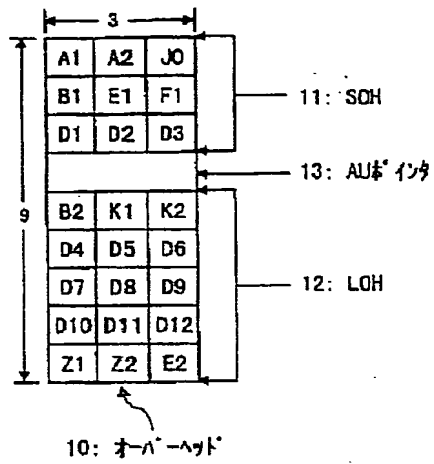
【図2】



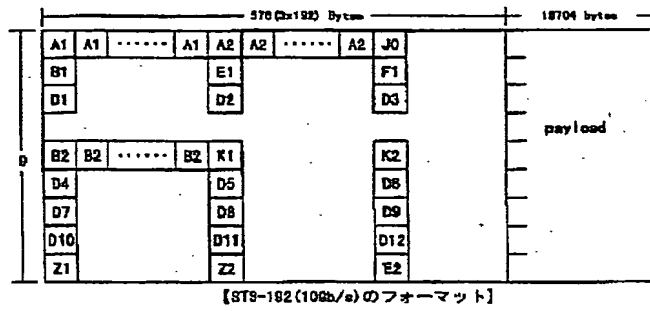
【図31】



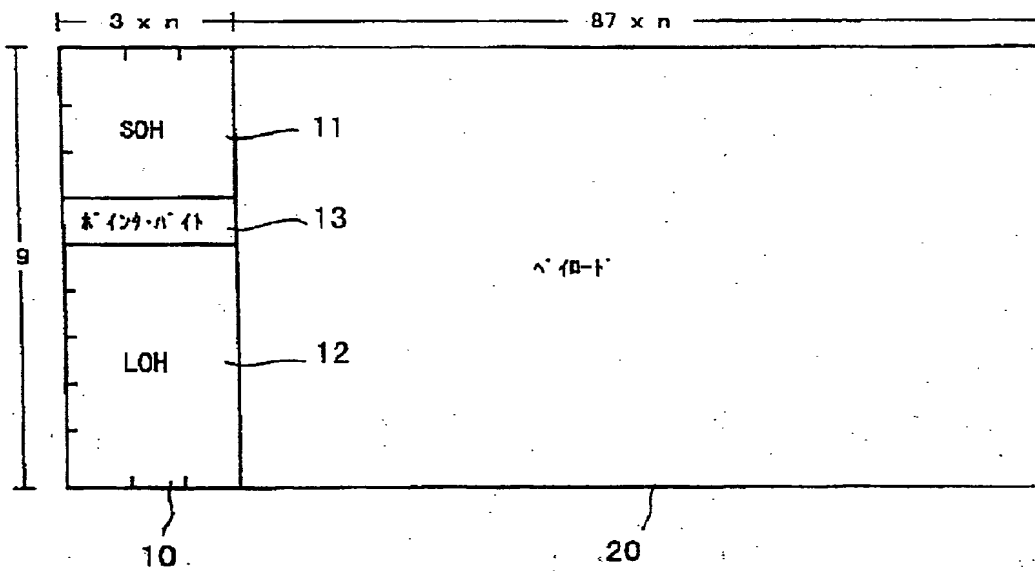
【図4】



【図6】



【図5】



【図7】

<Traffic>

Channel No	周波数 (THz)	波長 (nm)	grid (nm)	4波 WDM	8波 WDM	16波 WDM	32波 WDM	Note
1	196.2	1535.82					X	
2	195.1	1536.61					X	
3	195.0	1537.40					X	
4	194.9	1538.19					X	
5	194.8	1538.98					X	
6	194.7	1539.77					X	
7	194.6	1540.56					X	
8	194.5	1541.35					X	
9	194.4	1542.14					X	
10	194.3	1542.94					X	
11	194.2	1543.73					X	
12	194.1	1544.53					X	
13	194.0	1545.32					X	
14	193.9	1546.12					X	
15	193.8	1546.92					X	
16	193.7	1547.72					X	
17	193.6	1548.51		X	X	X	X	
18	193.5	1549.32				X	X	
19	193.4	1550.12			X	X	X	
20	193.3	1550.92				X	X	
21	193.2	1551.72		X	X	X	X	
22	193.1	1552.52				X	X	Reference Frequency
23	193.0	1553.33			X	X	X	
24	192.9	1554.13				X	X	
25	192.8	1554.94		X	X	X	X	
26	192.7	1555.75				X	X	
27	192.6	1556.55			X	X	X	
28	192.5	1557.36				X	X	
29	192.4	1558.17		X	X	X	X	
30	192.3	1558.98				X	X	
31	192.2	1559.79			X	X	X	
32	192.1	1560.61				X	X	

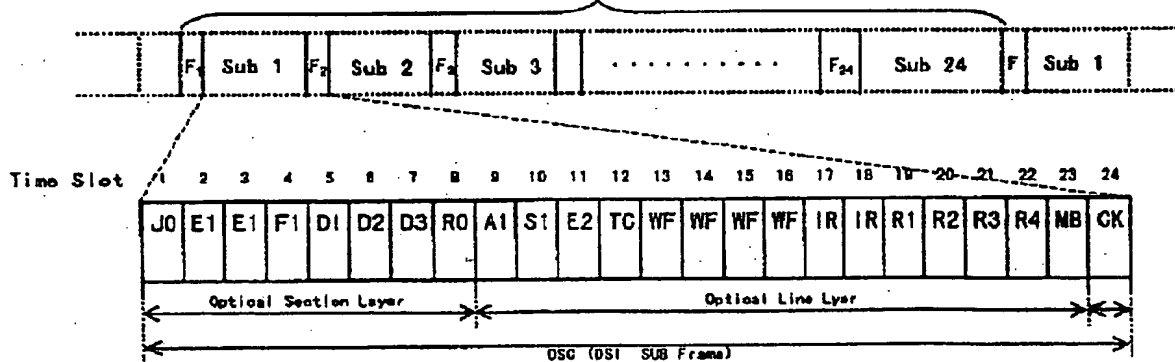
<Optical Service Channel>

No	周波数 (THz)	波長 (nm)	grid (nm)	x4	x8	x16	x32	Note
1		1510.00	-	X	X	X	X	Out of EDF Gain Bandwidth

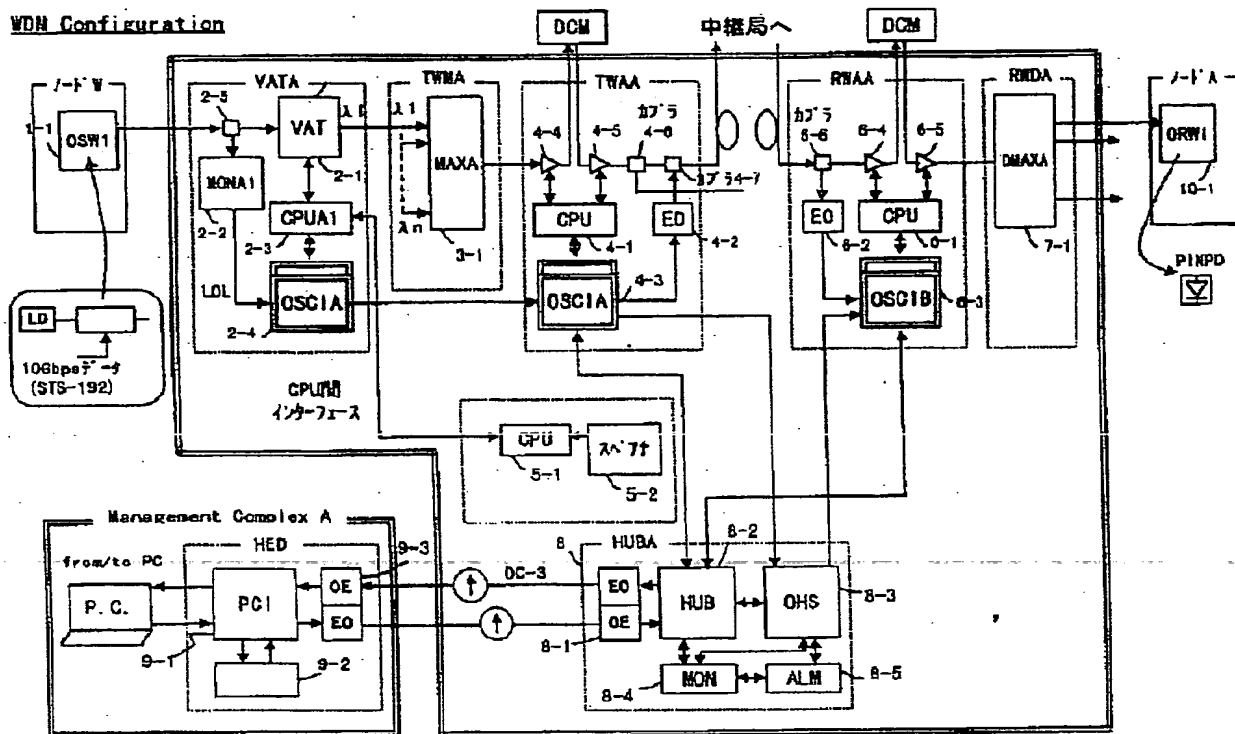
【図11】

OSCデータ伝送フォーマット

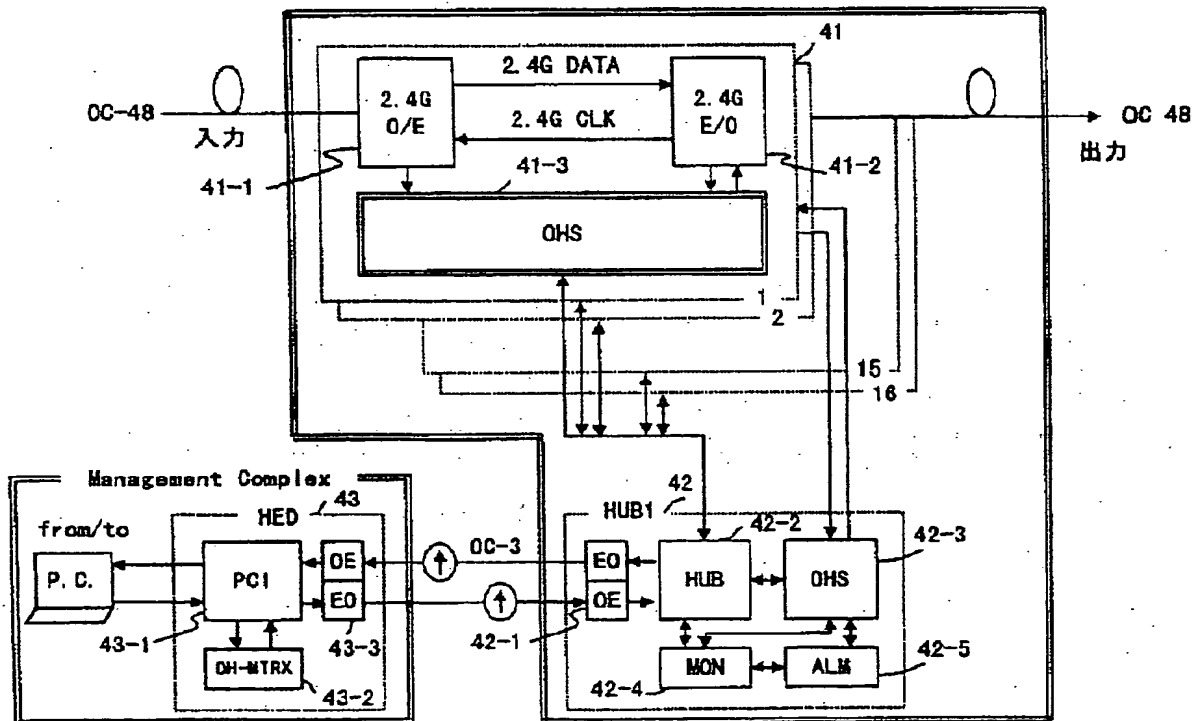
(1フレーム)



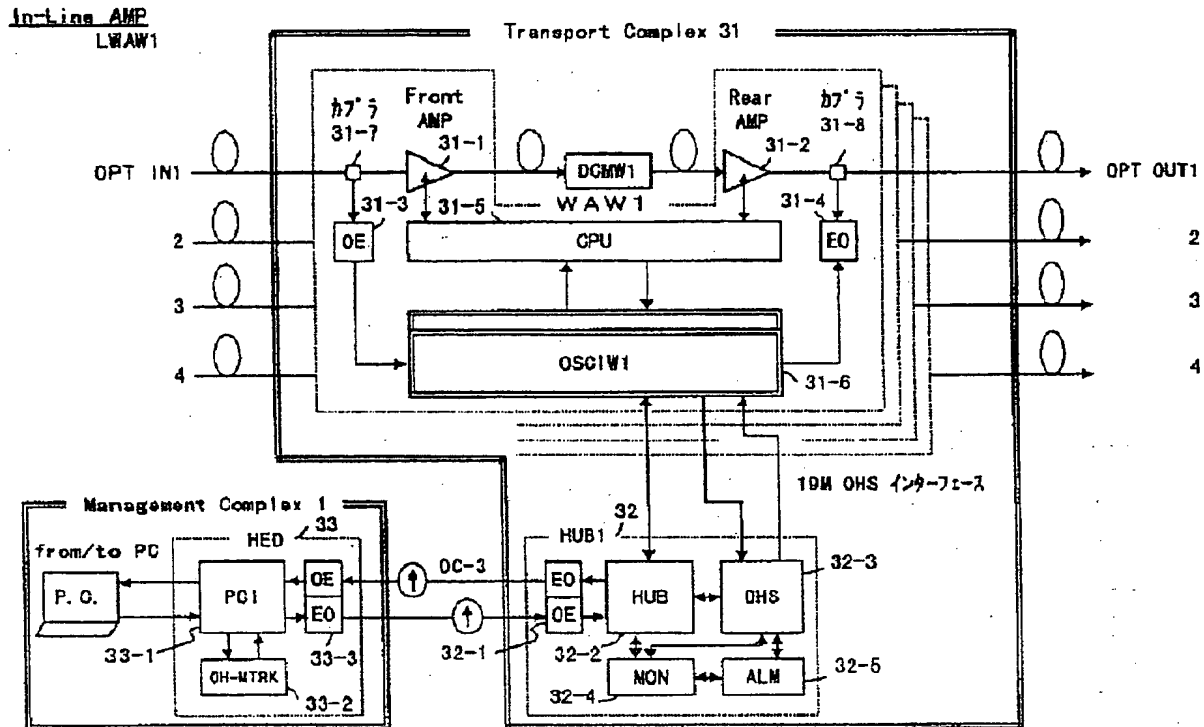
【図8】



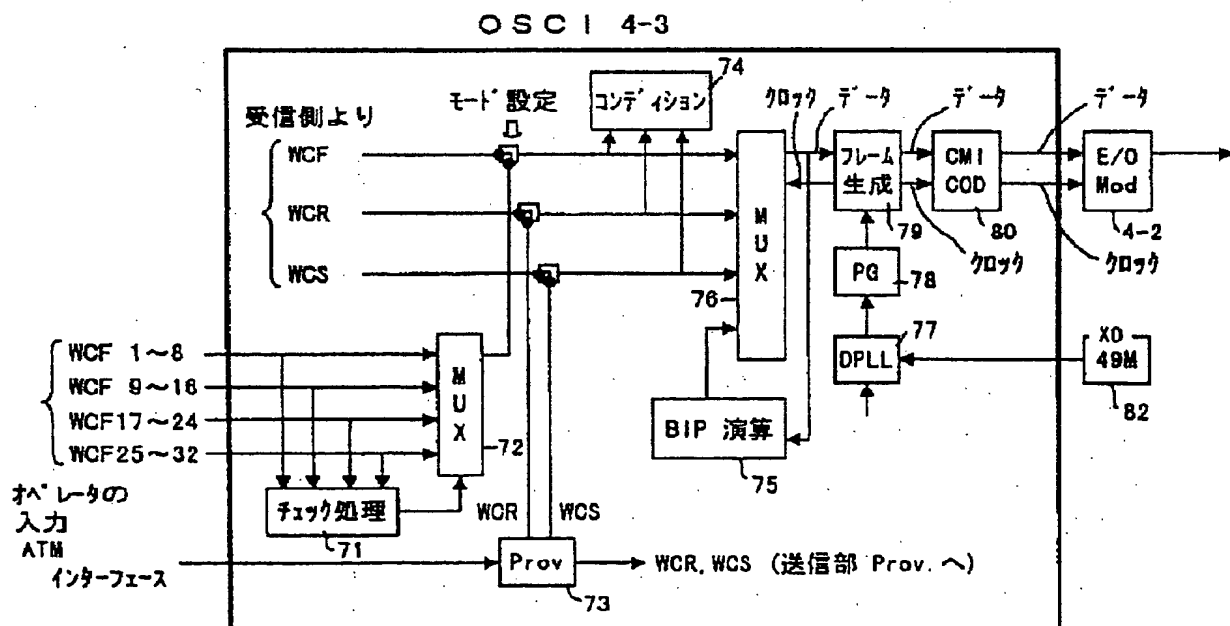
【図10】



【図 9】



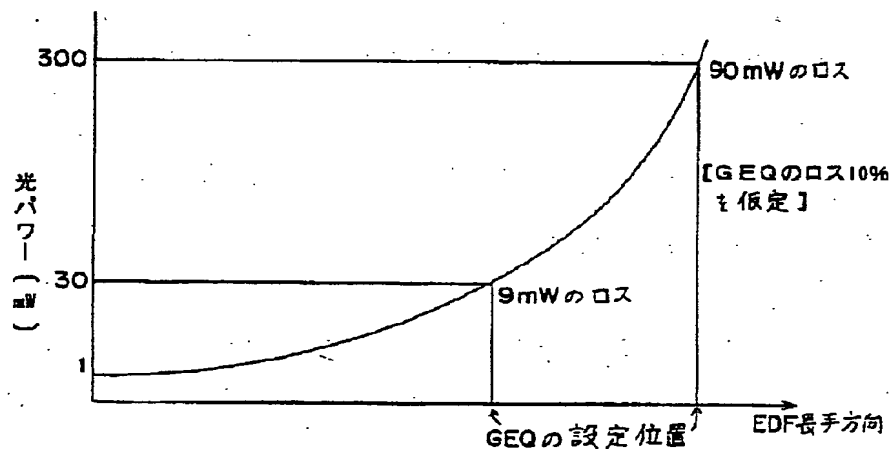
【図 15】



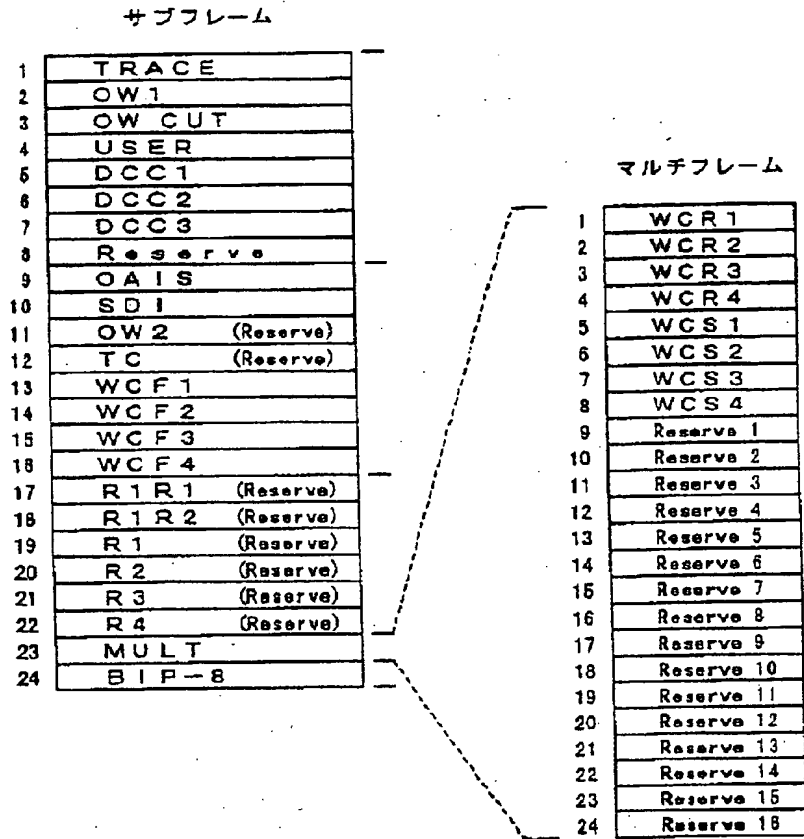
【図12】

OSC		機能名称	機能	製造ビット
No	Name			
1	J0	Section Trace		
2	E1	Local Orderwire		
3	E1B2	Local OM Cut		
4	F1	User Channel		
5	D1	DCC Data Communication Channel		
6	D2	DCC Data Communication Channel		
7	D3	DCC Data Communication Channel		
8	R0	Section Reserved		○
9	QA1S	OSO Alarm Indicator Signal	OSO-AIS	○
10	SD1	Shut Down Indicator	送信局LOL(Loss of Light)受信情報	○
11	E2	Extra-Orderwire		
12	TC	Time Control Byte	時刻設定トリガ用ビット	
13	WCF1	WDM Channel Failure Byte 1	WDMチャンネル障害情報CH1~CH8	○
14	WCF2	WDM Channel Failure Byte 2	WDMチャンネル障害情報CH9~CH16	○
15	WCF3	WDM Channel Failure Byte 3	WDMチャンネル障害情報CH17~CH24	○
16	WCF4	WDM Channel Failure Byte 4	WDMチャンネル障害情報CH25~CH32	○
17	R1R1	Reserved Interrupt Register 1	CPU割り込み処理用予備ビット1	
18	R1R2	Reserved Interrupt Register 2	CPU割り込み処理用予備ビット2	
19	R1	Reserved Byte 1	Line予備ビット1	○
20	R2	Reserved Byte 2	Line予備ビット2	○
21	R3	Reserved Byte 3	Line予備ビット3	○
22	R4	Reserved Byte 4	Line予備ビット4	○
23	MB	Multi-frame Byte	マルチフレームビット(×1)	○
24	OK	Sub frame checker	パリティチェック	○

【図23】

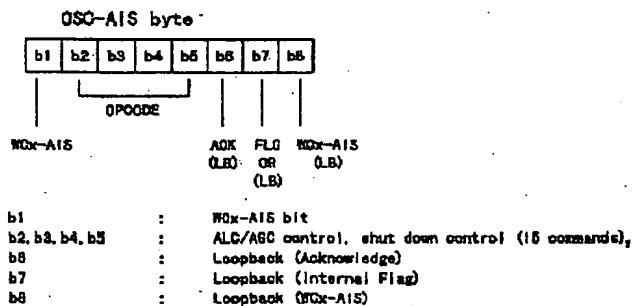


【図13】

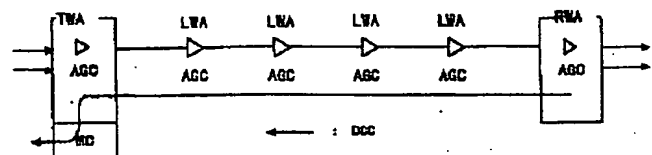


	ビット数	内容
WCR	4	波長 (ナノメートル) のビットレート (2.4Gbps or 10Gbps)
WCS	4	波長 (ナノメートル) の IS/OOS 表示

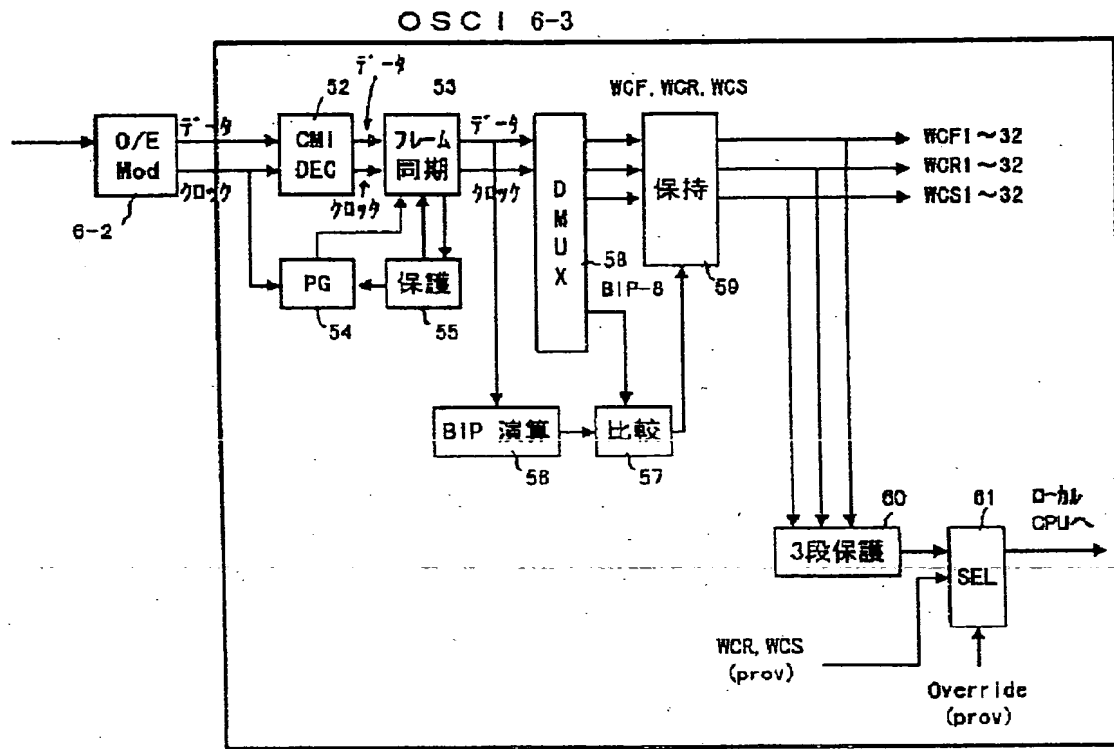
【図29】



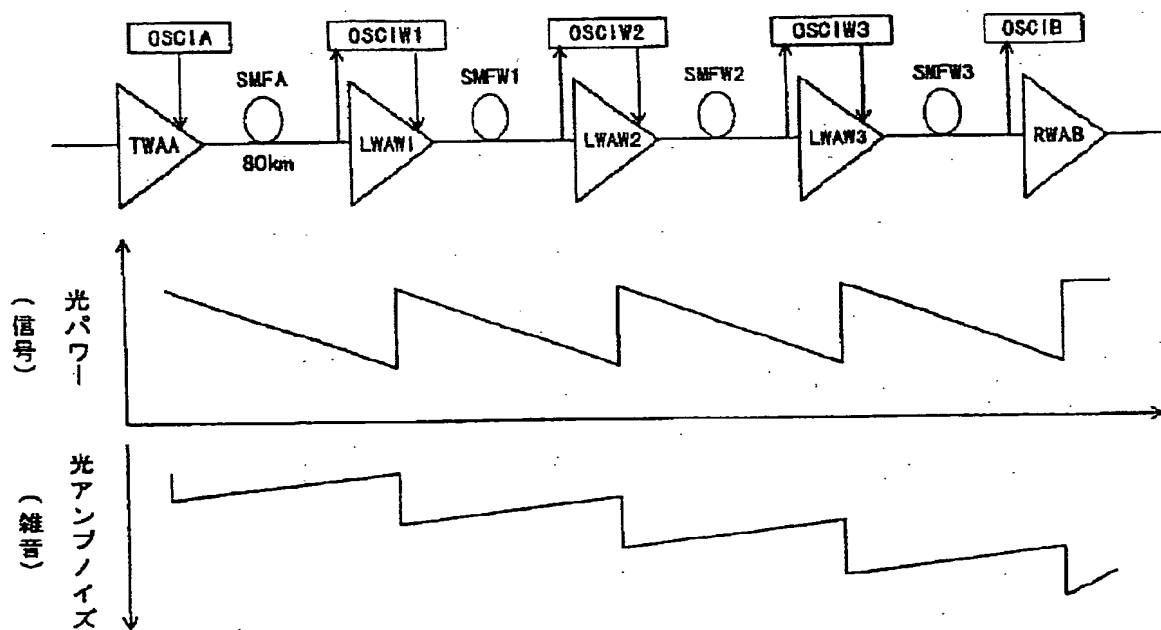
【図33】



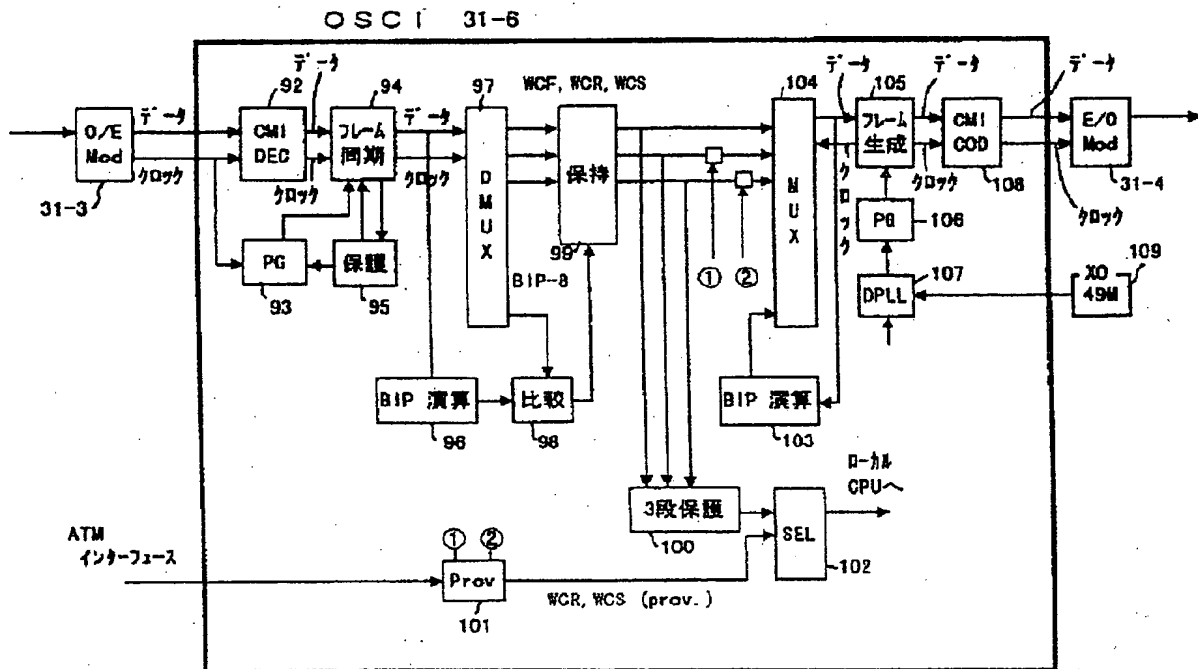
【図14】



【図18】



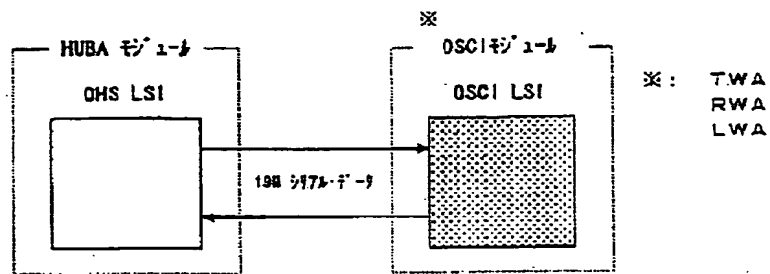
【図16】



【図21】

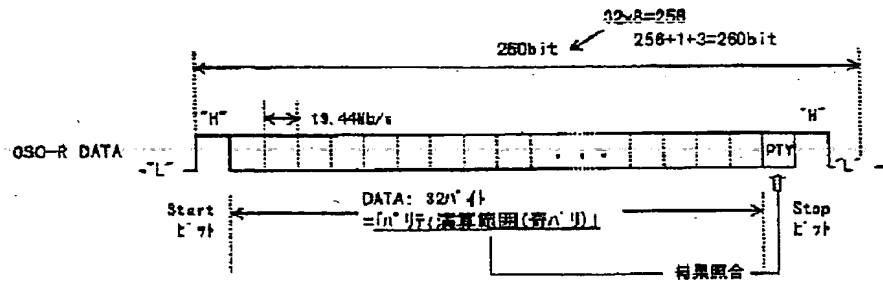
励起帯	980nm帯	1480nm帯
励起バンド	970~985nm : 15nm	1450~1500nm : 50nm
アンプのNF (Noise figure)	低雑音 ~3dB (理論限界)	4.5dB
変換効率	63%>	95%>

【図17】



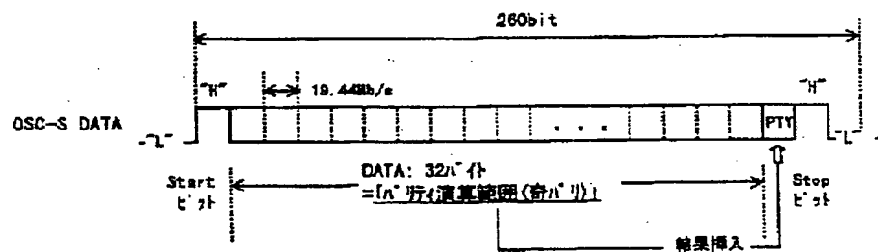
(a)

入力側データ形式 (OHS→OSC1)



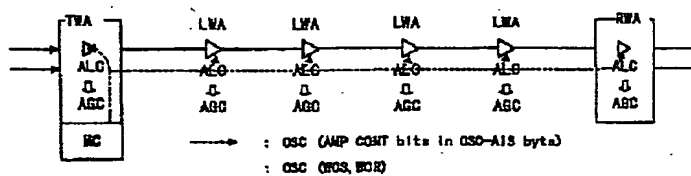
(b)

出力側データ形式 (OHS←OSC1)

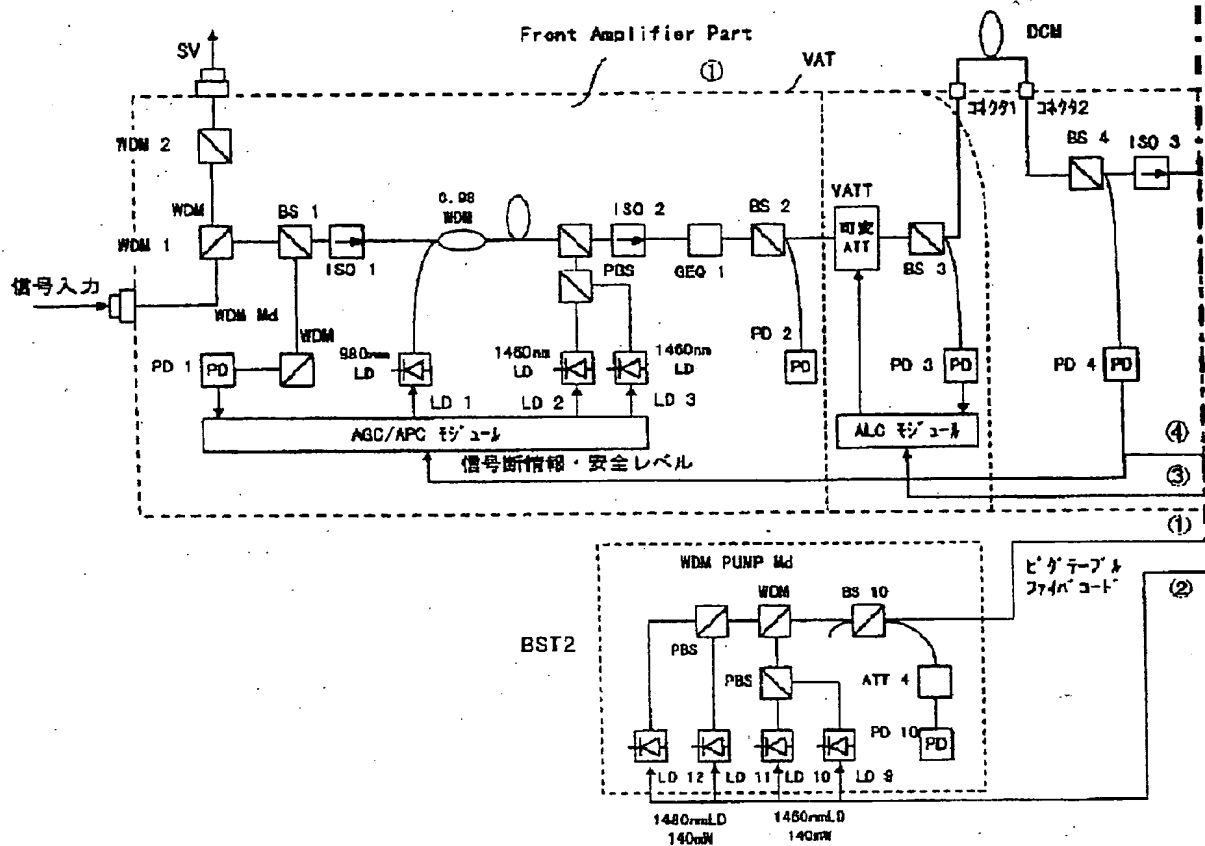


(c)

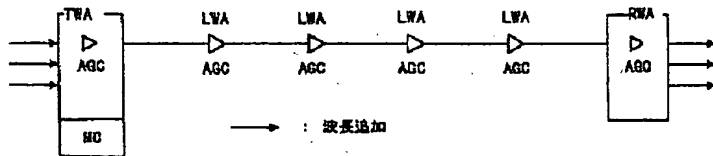
【図32】



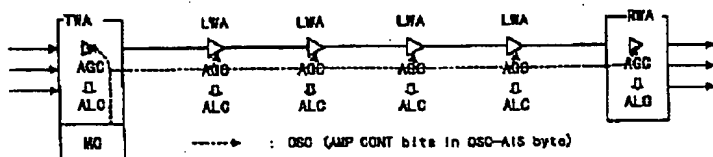
【図19】



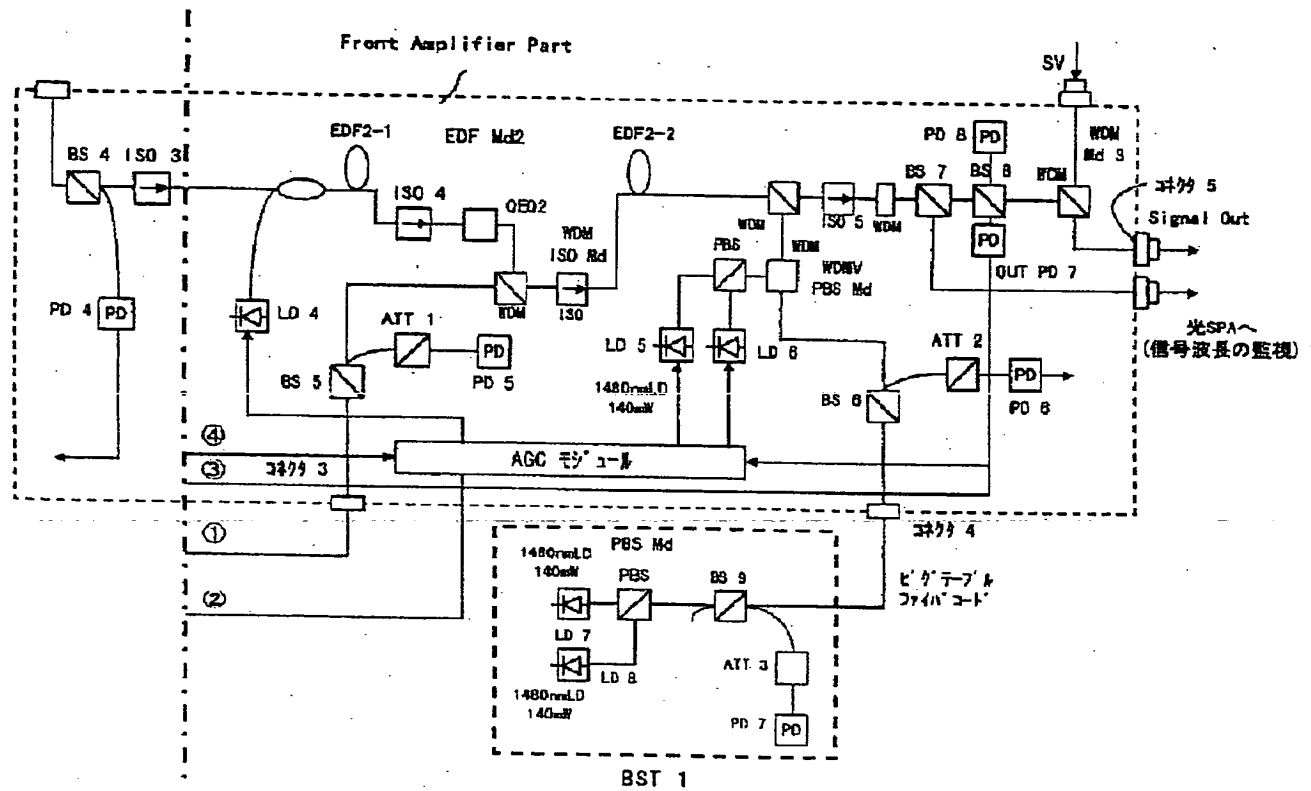
【図34】



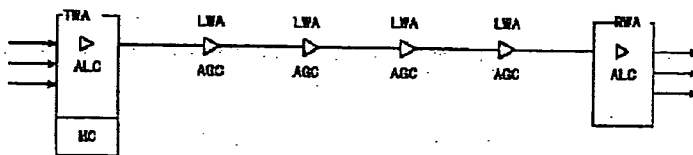
【図35】



【図20】

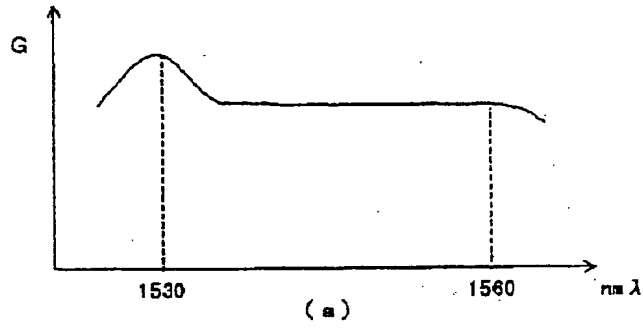


【図36】

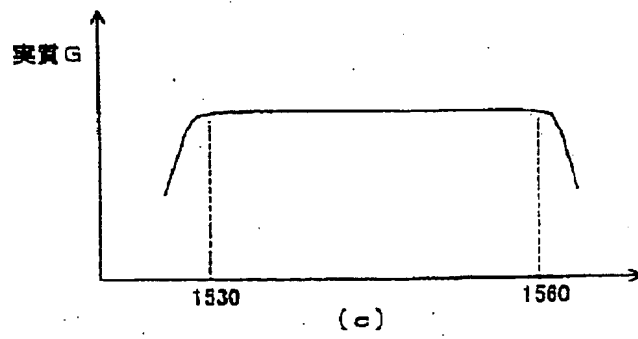
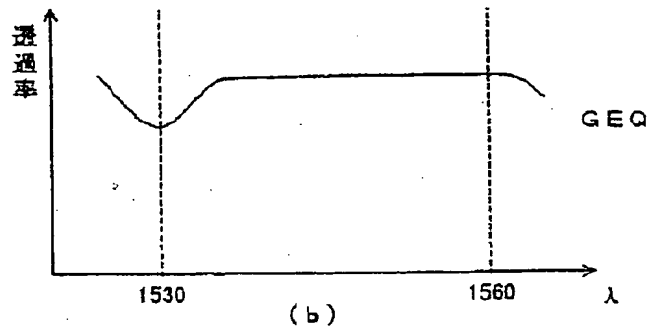


【図22】

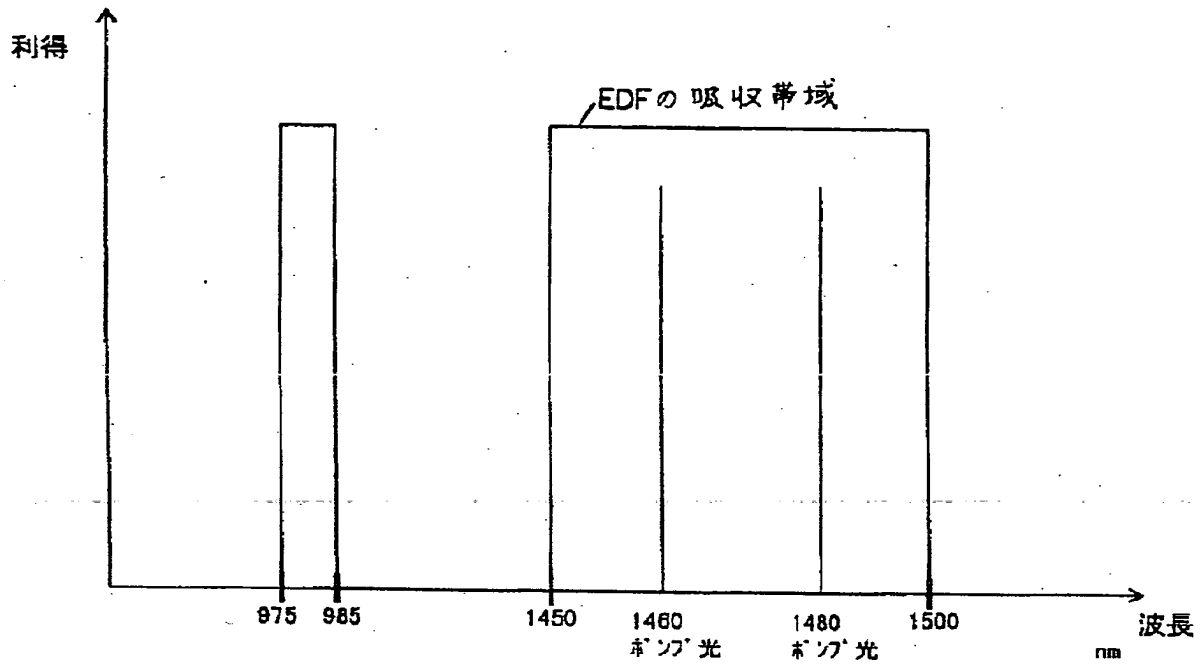
EDFのGain特性



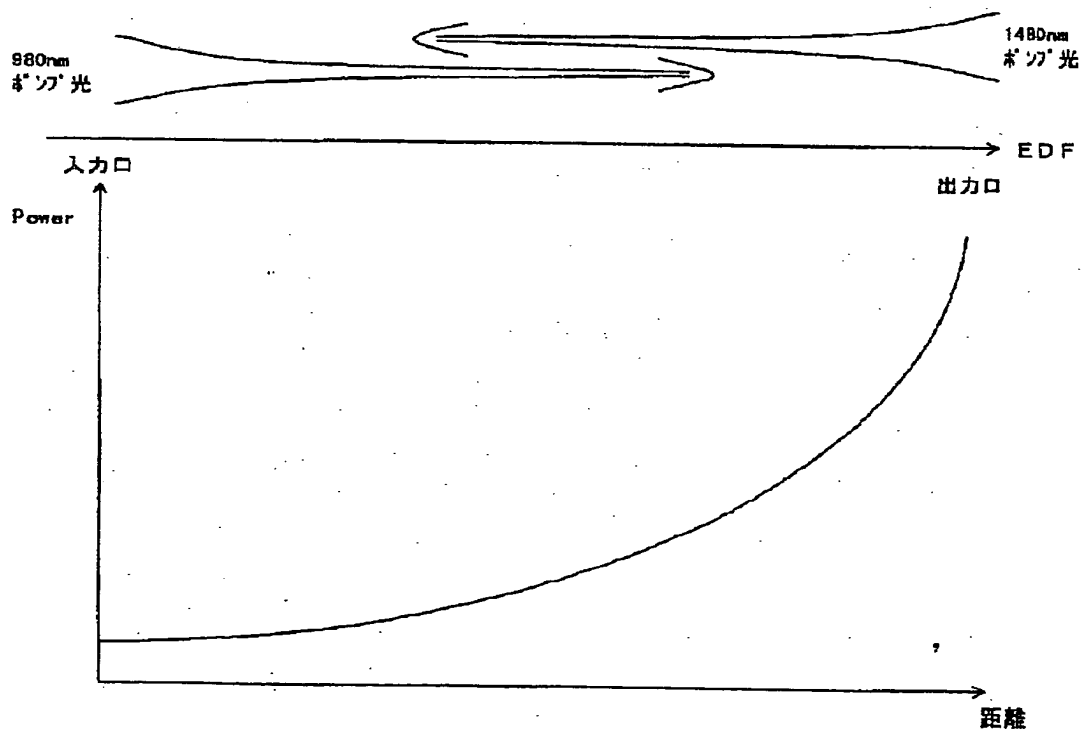
GEQのフィルタ特性



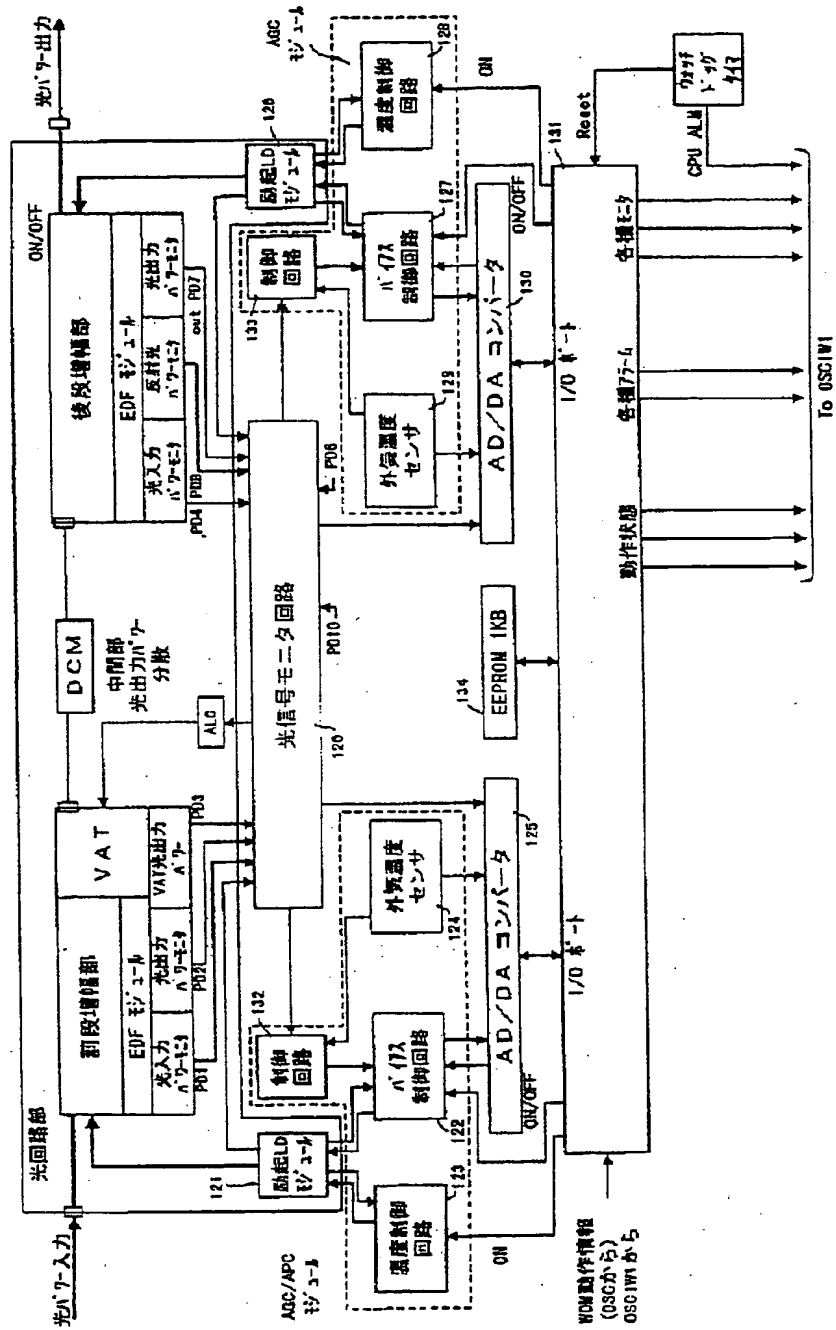
【図24】



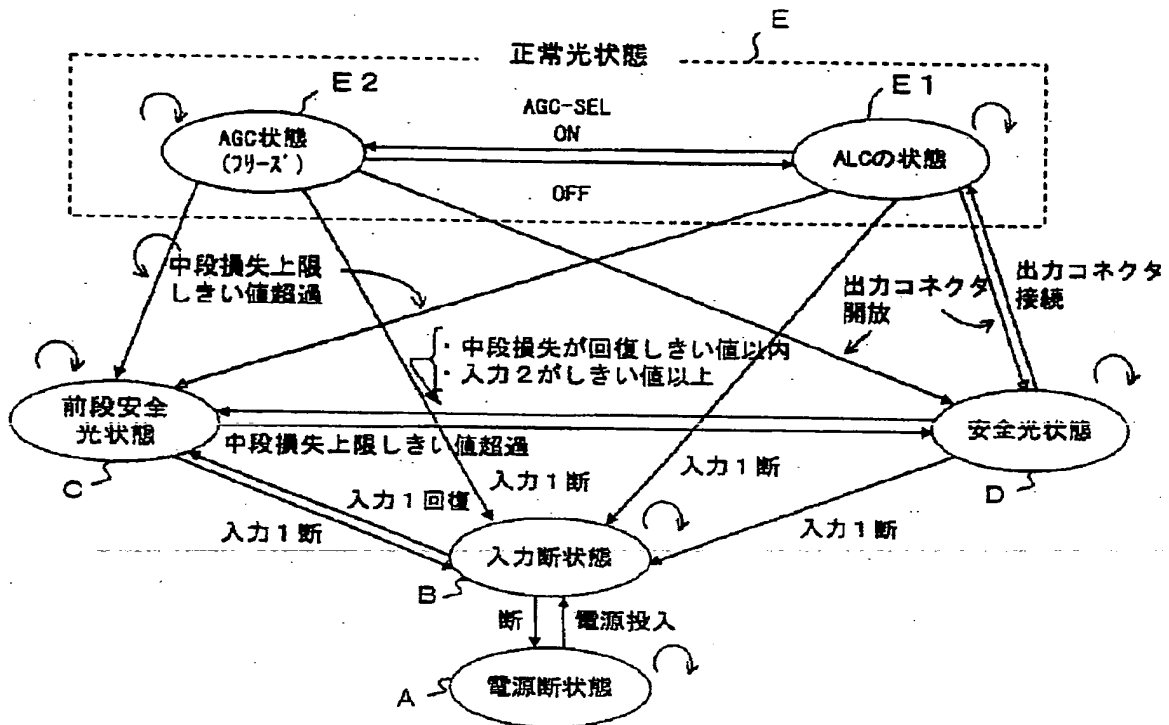
【図25】



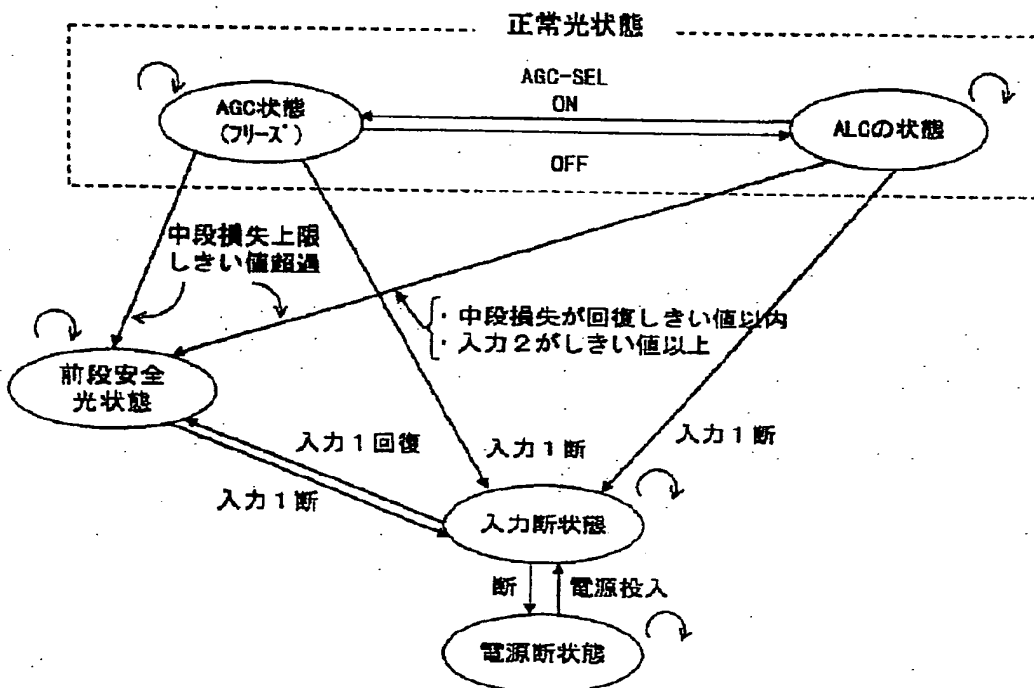
【図26】



【図27】



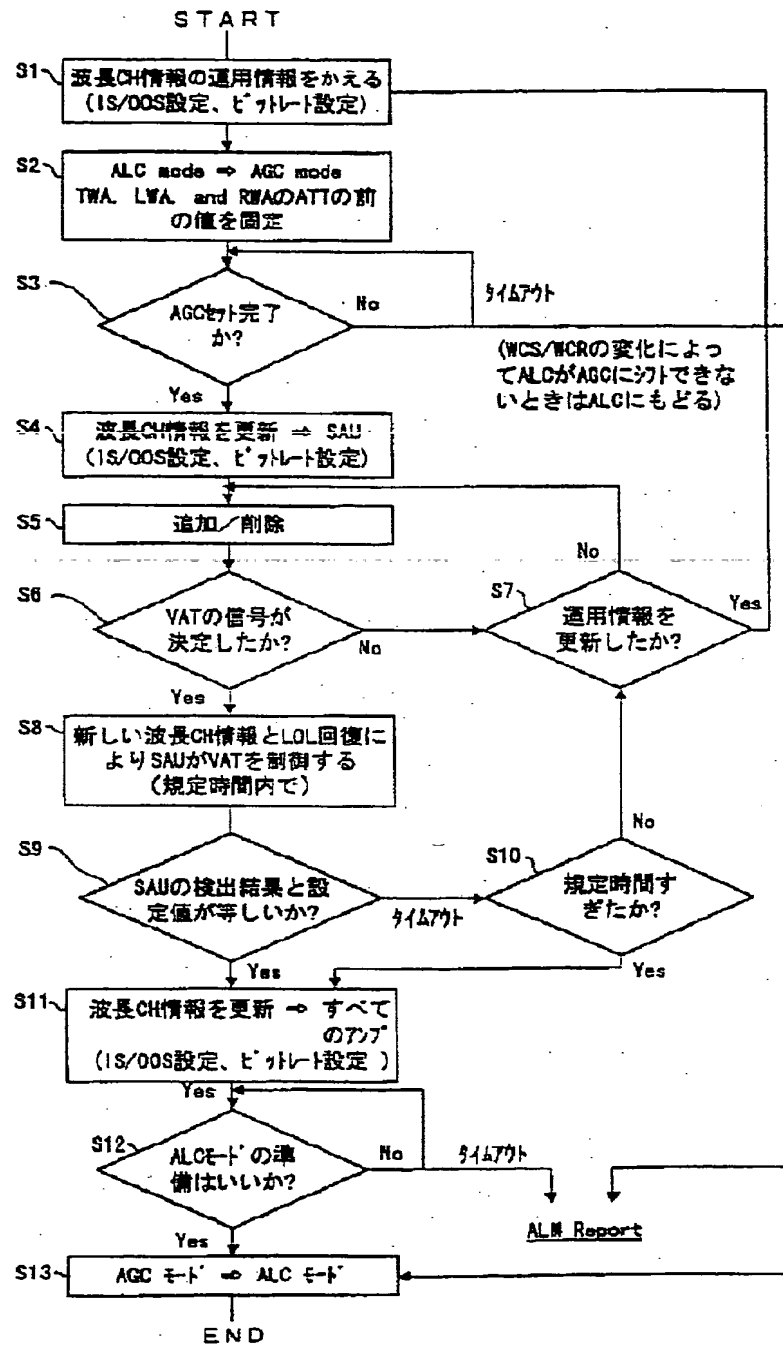
【図28】



【図30】

status	contents	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	note
Normal		0	0	0	0	0	0	0	0	
OSC line fail	LOS, LOF, AIS, BIP ERR detected	1	-	-	-	-	-	-	-	WCx-AIS
	Reverse side OSC line fail detect	-	-	-	-	-	-	-	1	WCx-AIS (LB)
Command	a Normal	-	0	0	0	0	-	-	-	
	b AGC → ALC + Shhut down INH enable	-	0	0	0	1	-	-	-	
	c Changing WCS/WCR Info.	-	0	0	1	0	-	-	-	
	d BST 0/1 scan	-	0	0	1	1	-	-	-	
	e Alarm scan	-	0	1	0	0	-	-	-	
	f Waiting status	-	0	1	0	1	-	-	-	
	g WCS/WCR renewal	-	0	1	1	0	-	-	-	
	h ALC → AGC + Shut down INH	-	0	1	1	1	-	-	-	
	i ΔP up	-	1	0	0	0	-	-	-	
	j ΔP down	-	1	0	0	1	-	-	-	
	reserved	-	1	0	1	0	-	-	-	
	reserved	-	1	0	1	1	-	-	-	
	reserved	-	1	1	0	0	-	-	-	
	reserved	-	1	1	0	1	-	-	-	
	reserved	-	1	1	1	0	-	-	-	

【図37】



WMXA

オペレータ	MCA	SAU	VAT	THRU	LBA W1~W3	RWA8
22	源長機/源長を1 丁への移行(72丁) (恒長機内の常設) 72丁の制御をALC- 1とするとる)を実行 する	-	-	OSC 部 ・W1 より制時計号を 受信 ・制時計号を OSC 部 有にのせて送信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す	OSC 部 ・OSC 部より制時計 号を受信 ・制時計号を OSC 部 有にのせて送信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す	OSC 部 ・OSC 部より制時計 号を受信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す
23	源長機/源長を1 丁への移行(72丁) (恒長機内の常設) 72丁の制御をALC- 1とするとる)を実行 する	-	-	OSC 部 ・W1 より制時計号を 受信 ・制時計号を OSC 部 有にのせて送信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す	OSC 部 ・OSC 部より制時計 号を受信 ・制時計号を OSC 部 有にのせて送信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す	OSC 部 ・OSC 部より制時計 号を受信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す
24	源長機/源長を1 丁への移行(72丁) (恒長機内の常設) 72丁の制御をALC- 1とするとる)を実行 する	-	-	OSC 部 ・W1 より制時計号を 受信 ・制時計号を OSC 部 有にのせて送信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す	OSC 部 ・OSC 部より制時計 号を受信 ・制時計号を OSC 部 有にのせて送信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す	OSC 部 ・OSC 部より制時計 号を受信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す
25	源長機/源長を1 丁への移行(72丁) (恒長機内の常設) 72丁の制御をALC- 1とするとる)を実行 する	-	-	OSC 部 ・W1 より制時計号を 受信 ・制時計号を OSC 部 有にのせて送信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す	OSC 部 ・OSC 部より制時計 号を受信 ・制時計号を OSC 部 有にのせて送信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す	OSC 部 ・OSC 部より制時計 号を受信 ・AMP 部に ALC W1-1 への移行を示す

WMUXA

[illegible]

FI

(72)発明者 菅谷 靖
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 大嶋 千裕
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 近間 輝美
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 伊藤 洋之
北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地
富士通北海道デジタル・テクノロジー株
式会社内

(72)発明者 沖山 正
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 小林 大喜
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

THIS PAGE BLANK (USPTO)